

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 819 236**

51 Int. Cl.:

C22F 1/10 (2006.01)

C21D 1/00 (2006.01)

C22C 19/05 (2006.01)

C22C 38/40 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **28.10.2014 PCT/US2014/062525**

87 Fecha y número de publicación internacional: **21.05.2015 WO15073201**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **28.10.2014 E 14793752 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.07.2020 EP 3068917**

54 Título: **Métodos para procesar aleaciones metálicas**

30 Prioridad:

12.11.2013 US 201314077699

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

15.04.2021

73 Titular/es:

**ATI PROPERTIES LLC (100.0%)
1600 N.E. Old Salem Road
Albany OR 97321, US**

72 Inventor/es:

**FORBES JONES, ROBIN M. y
MINISANDRAM, RAMESH S.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 819 236 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

Métodos para procesar aleaciones metálicas

5 **Antecedentes de la tecnología****Campo de la tecnología**

La presente divulgación se refiere a métodos para procesar termomecánicamente las aleaciones metálicas.

10

Descripción de los antecedentes de la tecnología

15 Cuando una pieza de trabajo de aleación metálica tal como, por ejemplo, un lingote, una barra o una palanquilla, se procesa termomecánicamente (es decir, trabajo en caliente), las superficies de la pieza de trabajo se enfrían más rápidamente que el interior de la pieza de trabajo. Un ejemplo específico de este fenómeno se produce cuando se calienta una barra de una aleación metálica y a continuación se forja usando una prensa de forjado radial o una forja de prensado de matriz abierta. Durante el forjado en caliente, la estructura granular de la aleación metálica se deforma debido a la acción de los troqueles. Si la temperatura de la aleación metálica durante la deformación es menor que la temperatura de recristalización de la aleación, la aleación no se recristalizará, dando como resultado una estructura granular compuesta de granos sin recristalizar alargados. Si, en cambio, la temperatura de la aleación durante la deformación es mayor o igual que la temperatura de recristalización de la aleación, la aleación recristalizará en una estructura equiaxial.

25 Como las piezas de trabajo metálicas se calientan normalmente a temperaturas mayores que la temperatura de recristalización de la aleación antes de la forja en caliente, la porción interior de la pieza de trabajo, que no se enfría tan rápido como las superficies de la pieza de trabajo, presenta usualmente una estructura completamente recristalizada sobre la forja en caliente. Sin embargo, las superficies de la pieza de trabajo pueden presentar una mezcla de granos sin recristalizar y de granos completamente recristalizados debido a las temperaturas inferiores en las superficies que son el resultado de un enfriamiento relativamente rápido. Representativa de este fenómeno, la Fig. 30 1 muestra la macroestructura de una barra forjada de forma radial en una aleación Datalloy HP™, una aleación de acero inoxidable superaustenítico disponible de ATI Allvac, Monroe, N.C., EE. UU., que muestra granos sin recristalizar en la región superficial de la barra. Los granos sin recristalizar en la región superficial no son deseables debido a que, por ejemplo, aumentan el nivel de ruido durante el ensayo ultrasónico, reduciendo la utilidad de dicho ensayo. Puede requerirse la inspección ultrasónica para verificar el estado de la pieza de trabajo de la aleación metálica para su uso 35 en aplicaciones críticas. En segundo lugar, los granos sin recristalizar reducen la resistencia a la fatiga de baja amplitud de la aleación.

40 Los intentos anteriores de eliminar los granos sin recristalizar en la región superficial de una pieza de trabajo de una aleación metálica procesada termomecánicamente, tal como una barra forjada, por ejemplo, han demostrado ser insatisfactorios. Por ejemplo, se ha producido un crecimiento excesivo de los granos en la porción interior de las piezas de trabajo de la aleación durante los tratamientos realizados para eliminar la región superficial de los granos sin recristalizar. Los granos extragrandes también pueden dificultar la inspección ultrasónica de aleaciones metálicas. El crecimiento de grano excesivo en las porciones interiores puede reducir también la resistencia a la fatiga de una pieza de trabajo de aleación hasta niveles inaceptables. Además, los intentos de eliminar granos sin recristalizar en la región 45 superficial de una pieza de trabajo de aleación procesada termomecánicamente han dado como resultado la precipitación de precipitados intermetálicos perjudiciales tales como, por ejemplo, fase sigma (fase σ). La presencia de dichos precipitados puede disminuir la resistencia a la corrosión.

50 El documento WO 02/086172 divulga un método para producir un acero inoxidable con una resistencia a la corrosión mejorada que incluye homogeneizar al menos una porción de un artículo de acero inoxidable que incluye cromo, níquel y molibdeno, y que tiene un PRE_N de al menos 50, como se calcula mediante la ecuación: $PRE_N = Cr + (3,3 \times Mo) + (30 \times N)$, donde Cr es el porcentaje en peso de cromo, Mo es el porcentaje en peso de molibdeno y N es el porcentaje en peso de nitrógeno en el acero inoxidable. En un aspecto del método, al menos una porción del artículo se refunde para homogeneizar la porción. En otro aspecto del método, el artículo se recuece en condiciones suficientes para 55 homogeneizar al menos una región superficial del artículo. El método de la invención potencia la resistencia a la corrosión del acero inoxidable como se refleja por la temperatura de corrosión crítica de las grietas del acero.

60 Sería ventajoso desarrollar métodos para procesar termomecánicamente las piezas de trabajo de las aleaciones metálicas de modo que se minimicen o eliminen los granos sin recristalizar en una región superficial de la pieza de trabajo. Sería también ventajoso desarrollar métodos para procesar termomecánicamente las piezas de trabajo de aleaciones metálicas para proporcionar una estructura granular recristalizada equiaxial a través de la sección transversal de la pieza de trabajo, y en donde la sección transversal esté sustancialmente exenta de precipitados intermetálicos perjudiciales, limitando a la vez el tamaño promedio del grano de la estructura granular equiaxial.

65 **Sumario**

La invención proporciona un método para procesar una aleación de acero inoxidable superaustenítico de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas.

Otros aspectos de la invención son como se reivindican en las reivindicaciones dependientes.

5

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de los métodos descritos en el presente documento pueden comprenderse mejor por referencia a los dibujos adjuntos en los que:

10

la Fig. 1 muestra una macroestructura de una barra forjada de forma radial de aleación de acero inoxidable superaustenítico Datalloy HP™ que incluye granos sin recrystalizar en una región superficial de la barra;

la Fig. 2 muestra una macroestructura de una barra forjada de forma radial de una aleación de acero inoxidable superaustenítico Datalloy HP™ con recocido a alta temperatura (1177 °C (2150 °F));

15

la Fig. 3 es un diagrama de flujo que ilustra una realización no limitante de un método para procesar una aleación metálica de acuerdo con la presente divulgación;

la Fig. 4 es una curva de transformación isotérmica ilustrativa de un precipitado de fase sigma intermetálica en una aleación de acero inoxidable austenítico;

20

la Fig. 5 es un diagrama de flujo que ilustra una realización no limitante de un método para procesar una aleación de acero inoxidable superaustenítico de acuerdo con la presente divulgación;

la Fig. 6 es un diagrama temperatura de proceso frente al tiempo de acuerdo con determinadas realizaciones no limitantes del método de la presente divulgación;

la Fig. 7 es un diagrama de temperatura de proceso frente al tiempo de acuerdo con determinadas realizaciones no limitantes del método de la presente divulgación;

25

la Fig. 8 muestra una macroestructura de un producto molido que comprende una aleación de acero inoxidable superaustenítico Datalloy HP™ procesada de acuerdo con temperatura de proceso frente al tiempo de la Fig. 6; y

la Fig. 9 muestra una macroestructura de un producto molido que comprende una aleación de acero inoxidable superaustenítico Datalloy HP™ procesada de acuerdo con temperatura de proceso frente al tiempo de la Fig. 7.

30

El lector apreciará los detalles anteriores, así como otros, tras considerar la siguiente descripción detallada de determinadas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción detallada de determinadas realizaciones no limitantes

35

Es posible eliminar granos superficiales sin recrystalizar en una barra de aleación metálica trabajada en caliente u otra pieza de trabajo llevando a cabo un tratamiento térmico de recocido por el cual se calienta la aleación a una temperatura de recocido mayor que la temperatura de recrystalización de la aleación y se mantiene a dicha temperatura hasta que se completa la recrystalización. Sin embargo, las aleaciones de acero inoxidable superaustenítico y algunas otras aleaciones de acero inoxidable austenítico son susceptibles a la formación de un precipitado intermetálico perjudicial, tal como un precipitado de fase sigma, cuando se procesa de esta manera. Calentar barras de tamaño

40

más grande y otras formas molidas grandes de estas aleaciones a una temperatura de recocido, por ejemplo, puede hacer que precipiten compuestos intermetálicos perjudiciales, particularmente en la región central de las formas molidas. Por lo tanto, los tiempos y temperaturas de recocido deben seleccionarse no solo para recrystalizar los granos de regiones superficiales, sino también para disolver cualquier compuesto intermetálico. Para asegurar que los compuestos intermetálicos se disuelven en la totalidad de la sección transversal de una barra grande, por ejemplo,

45

puede ser necesario mantener la barra a la temperatura elevada durante un tiempo significativo. El diámetro de la barra es un factor para determinar el tiempo de mantenimiento mínimo necesario para disolver adecuadamente compuestos intermetálicos perjudiciales, pero los tiempos de mantenimiento mínimos pueden ser tan largos como de una a cuatro horas, o más. En realizaciones no limitantes, los tiempos de mantenimiento mínimos son de 2 horas, mayores de 2 horas, 3 horas, 4 horas, o 5 horas. Aunque puede ser posible seleccionar una temperatura y tiempo de mantenimiento que al mismo disuelva los compuestos intermetálicos y recrystalice los granos sin recrystalizar de la región superficial, el mantenimiento a la temperatura de disolución durante largos periodos puede también permitir que los granos crezcan hasta dimensiones inaceptablemente grandes. Por ejemplo, en la Fig. 2 se ilustra la macroestructura de la barra forjada de forma radial de aleación de acero inoxidable superaustenítico ATI Datalloy

50

HP™ con recocido a alta temperatura (1177 °C (2150 °F)) durante un periodo prolongado. Los granos extragrandes evidentes en la Fig. 2 formados durante el calentamiento dificultan inspeccionar ultrasónicamente la barra para garantizar su idoneidad para determinadas aplicaciones comerciales exigentes. Además, los granos extragrandes reducen la resistencia a la fatiga de la aleación metálica hasta niveles inaceptablemente bajos.

55

La aleación ATI Datalloy HP™ se describe generalmente en, por ejemplo, la solicitud de patente de Estados Unidos con n.º de serie 13/331.135. La química medida de la barra de aleación de acero inoxidable superaustenítico ATI Datalloy HP™ que se muestra en la Fig. 2 era, en porcentajes en peso basados en el peso total de aleación: 0,006 de carbono; 4,38 de manganeso; 0,013 de fósforo; 0,0004 de azufre; 0,26 de silicio; 21,80 de cromo; 29,97 de níquel; 5,19 molibdeno; 1,17 de cobre; 0,91 de tungsteno; 2,70 de cobalto; menos de 0,01 de titanio; menos de 0,01 de niobio;

60

0,04 de vanadio; menos de 0,01 de aluminio; 0,380 de nitrógeno; menos de 0,01 de circonio; el resto es hierro e impurezas accidentales sin detectar, en general, la aleación de acero inoxidable superaustenítico ATI Datalloy HP™

65

comprende, en porcentaje en peso basado en el peso total de la aleación, hasta 0,2 de carbono, hasta 20 de manganeso, 0,1 a 1,0 de silicio, 14,0 a 28,0 de cromo, 15,0 a 38,0 de níquel, 2,0 a 9,0 de molibdeno, 0,1 a 3,0 de cobre, 0,08 a 0,9 de nitrógeno, 0,1 a 5,0 de tungsteno, 0,5 a 5,0 cobalto, hasta 1,0 de titanio, hasta 0,05 de boro, hasta 0,05 de fósforo, hasta 0,05 de azufre, hierro, e impurezas accidentales.

5 En referencia a la Fig. 3, de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, se muestran esquemáticamente determinadas etapas de una realización no limitante 10 de un método de procesamiento de una aleación metálica que consiste en una aleación de acero inoxidable superaustenítico. El método 10 puede comprender el calentamiento 12 de una aleación metálica a una temperatura en un intervalo de temperatura de trabajo. El intervalo de temperatura de trabajo puede ser desde la temperatura de recristalización de la aleación metálica a una temperatura exactamente por debajo de una incipiente temperatura de fusión de la aleación metálica. En una realización no limitante del método 10, la aleación metálica es una aleación de acero inoxidable superaustenítico Datalloy HP™ y el intervalo de la temperatura de trabajo es desde más de 1038 °C (1900 °F) hasta 1177 °C (2150 °F). Además, la aleación preferentemente se calienta 12 a una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo que sea lo es suficiente mente alta para disolver las fases intermetálicas precipitadas presentes en la aleación.

Una vez calentada a una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo, la aleación metálica se trabaja 14 dentro del intervalo de la temperatura de trabajo. En una realización no limitante, trabajar la aleación metálica dentro del intervalo de la temperatura de trabajo da como resultado la recristalización de los granos de al menos una región interna de la aleación metálica. Como la región superficial de la aleación metálica tiende a enfriarse rápidamente debido a, por ejemplo, el enfriamiento derivado del contacto con las matrices de trabajo, los granos en la región superficial de la aleación metálica pueden enfriarse por debajo del intervalo de la temperatura de trabajo y pueden no recristalizar durante el trabajo. En diversas realizaciones no limitantes del presente documento, una "región superficial" de una aleación metálica o pieza de trabajo de una aleación metálica se refiere a una región desde la superficie hasta una profundidad de 0,00254 cm (0,001 pulgadas), 0,0254 cm (0,01 pulgadas), 0,254 cm (0,1 pulgadas), o 2,54 cm (1 pulgada) o más en el interior de la aleación o la pieza de trabajo. Se entenderá que la profundidad de una región superficial que no se recristaliza durante el trabajo 14 depende de múltiples factores, tales como, por ejemplo, la composición de la aleación metálica, la temperatura de la aleación al inicio del trabajo, el diámetro del espesor de la aleación, la temperatura de las matrices de trabajo, y similares. Un experto en la materia determina fácilmente la profundidad de una región superficial que no se recristaliza durante el trabajo sin experimentación innecesaria y, por tanto, la región superficial que no se recristaliza durante cualquier realización no limitante concreta del método de la presente divulgación no tiene que describirse adicionalmente en el presente documento.

Como una región superficial puede no recristalizarse durante el trabajo, posteriormente al trabajo de la aleación metálica, y antes de cualquier enfriamiento intencionado de la aleación, al menos, la región superficial de la aleación se calienta 18 a una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo. Opcionalmente, después de trabajar 14 la aleación metálica, la aleación se transfiere 16 a un aparato de calentamiento. En diversas realizaciones no limitantes, el aparato de calentamiento comprende al menos uno de un horno, una estación de calentamiento a la llama, una estación de calentamiento a la llama por inducción, o cualquier otro aparato de calentamiento adecuado conocido por una persona que tiene un conocimiento normalmente experto en la materia. Se reconocerá que un aparato de calentamiento puede estar situado en la estación de trabajo, o bien las matrices, rodillos, o cualquier otro aparato de trabajo en caliente de la estación de trabajo puede calentarse para minimizar el enfriamiento de la región superficial que se ha puesto en contacto con la aleación durante el trabajo.

Después de que al menos la región superficial de la aleación metálica se caliente 18 dentro del intervalo de la temperatura de trabajo, la temperatura de la región superficial se mantiene 20 en el intervalo de la temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo suficiente para recristalizar la región superficial de la aleación metálica, de tal manera que se recristaliza la sección transversal total de la aleación metálica. La temperatura de la aleación metálica no se enfría para intersecar la curva tiempo-temperatura-transformación durante el periodo de tiempo para trabajar 14 la aleación para calentar 18 al menos la región superficial de la aleación a una temperatura en el intervalo de temperatura de recocido. Esto evita que las fases intermetálicas perjudiciales, tales como, por ejemplo, la fase sigma, precipiten en la aleación de acero inoxidable superaustenítico. Esta limitación se explica adicionalmente a continuación. El periodo de tiempo durante el cual la temperatura de la región superficial calentada se mantiene 20 dentro del intervalo de temperatura de recocido es un tiempo suficiente para recristalizar granos en la región superficial y disolver cualesquiera fases de precipitado intermetálico superficiales.

Tras mantener 20 la aleación metálica en el intervalo de temperatura de trabajo para recristalizar la región superficial de la aleación, la aleación se enfría 22. En determinadas realizaciones no limitantes, la aleación metálica puede enfriarse a temperatura ambiente. En determinadas realizaciones no limitantes, la aleación metálica puede enfriarse desde el intervalo de la temperatura de trabajo a una velocidad de enfriamiento y a una temperatura suficiente para minimizar el crecimiento del grano en la aleación metálica. En una realización no limitante, una velocidad de enfriamiento durante la etapa de enfriamiento está en el intervalo de 0,17 °C (0,3 grados Fahrenheit) por minuto a 5,6 °C (10 grados Fahrenheit) por minuto. Los métodos ilustrativos de enfriamiento de acuerdo con la presente divulgación incluyen, aunque no de forma limitativa, templado (tal como, por ejemplo, templado con agua y templado con aceite), enfriamiento con aire forzado, y enfriamiento con aire. Se reconocerá que la velocidad de enfriamiento que minimice el crecimiento del grano en la aleación metálica dependerá de muchos factores entre los que se incluyen,

aunque no de forma limitativa, la composición de la aleación metálica, la temperatura de trabajo inicial y el diámetro o espesor de la aleación metálica. La combinación de las etapas de calentar 18 al menos una región superficial de la aleación metálica hasta el intervalo de temperatura de trabajo y mantener 20 la región superficial dentro del intervalo de la temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo para recrystalizar la región superficial puede denominarse en el presente documento como "recocido ultrarrápido".

Las aleaciones de acero inoxidable superaustenítico no se ajustan a la definición clásica de acero inoxidable ya que el hierro constituye menos del 50 por ciento en peso de aleaciones de acero inoxidable superaustenítico. En comparación con los aceros inoxidables austeníticos convencionales, las aleaciones de acero inoxidable superaustenítico presentan una resistencia superior a las picaduras y a la corrosión por agrietamiento en entornos que contienen haluros.

La etapa de trabajar una aleación metálica a una temperatura elevada de acuerdo con el presente método puede llevarse a cabo usando cualquier técnica conocida. Como se usa en el presente documento, los términos "conformado", "forjado", y "forjado radial" se refieren a un procesamiento termomecánico ("TMP"), que también puede denominarse en el presente documento como "trabajo termomecánico" o simplemente como "trabajo". Como se usa en el presente documento, a menos que se especifique de otro modo, "trabajo " se refiere a "trabajo en caliente". "Trabajo en caliente", como se usa en el presente documento, se refiere a una operación mecánica controlada para conformar una aleación metálica a temperaturas a o por encima de la temperatura de recrystalización de la aleación metálica. El trabajo termomecánico abarca numerosos procesos de conformación de aleaciones metálicas que combinan el calentamiento y la deformación controlados para obtener un efecto sinérgico, tal como una mejora en la resistencia, sin pérdida de tenacidad. Véase, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), pág. 480.

En diversas realizaciones no limitantes del método 10 de acuerdo con la presente divulgación, y con referencia a la Fig. 3, trabajar 14 la aleación metálica comprende al menos uno de forjar, laminar, laminar con desbastado, extrudir y conformar, la aleación metálica. En diversas realizaciones no limitantes más específicas, trabajar 14 la aleación metálica comprende el forjado de la aleación metálica. Diversas realizaciones no limitantes pueden comprender trabajar 14 la aleación metálica usando al menos una técnica de forja seleccionada entre forja con rodillo de laminación, estampado, desbastado, forja de matriz abierta, forja con matriz de impresión, forjado con prensa, forjado automático en caliente, forjado radial y forjado con recalado. En una realización no limitante, se pueden utilizar matrices calentadas, rodillos calentados y/o similares para reducir el enfriamiento de una región superficial de la aleación metálica durante el trabajo.

En determinadas realizaciones no limitantes de los métodos de acuerdo con la presente divulgación y, de nuevo, en referencia a la Fig. 3, calentar una región superficial 18 de la aleación metálica a una temperatura dentro del intervalo de la temperatura de trabajo puede comprender calentar la región superficial disponiendo la aleación en el horno de recocido u otro tipo de horno. En determinadas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, calentar una región superficial 18 al intervalo de la temperatura de trabajo comprende al menos uno de calentamiento en horno, calentamiento con llama y calentamiento por inducción.

En determinadas realizaciones no limitantes de los métodos de acuerdo con la presente divulgación y, de nuevo, en referencia a la Fig. 3, mantener 20 la región superficial de la aleación metálica dentro del intervalo de la temperatura de trabajo puede comprender mantener la región superficial dentro del intervalo de la temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo suficiente para recrystalizar la región de la superficie calentada de la aleación metálica y minimizar el crecimiento del grano en la aleación metálica. Para evitar el crecimiento de granos en la aleación metálica hasta un tamaño excesivamente grande, por ejemplo, en determinadas realizaciones no limitantes, el periodo de tiempo durante el cual se mantiene la temperatura de la región superficial dentro del intervalo de la temperatura de trabajo puede estar limitado a un periodo de tiempo no más largo que el necesario para recrystalizar la región superficial calentada de la aleación metálica, dando como resultado granos recrystalizados en la totalidad de la sección transversal total de la aleación metálica. En otras realizaciones no limitantes, el mantenimiento 20 comprende tener la aleación metálica en el intervalo de temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo suficiente para permitir que la temperatura de la aleación metálica se iguale desde la superficie al centro de la forma de aleación metálica. En realizaciones no limitantes específicas, la aleación metálica se mantiene 20 en el intervalo de temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo en un intervalo de 1 minuto a 2 horas, de 5 minutos a 60 minutos, o de 10 minutos a 30 minutos.

Además, en realizaciones no limitantes de los presentes métodos aplicados a aleaciones de acero inoxidable superaustenítico, la aleación preferentemente se trabaja 14, la región superficial se calienta 18 y la aleación se mantiene 20 a temperaturas comprendidas dentro del intervalo de la temperatura de trabajo que son suficientemente altas para mantener las fases intermetálicas que son perjudiciales para las propiedades mecánicas o físicas de las aleaciones en solución sólida, o para disolver cualesquiera fases intermetálicas precipitadas en una disolución sólida durante estas etapas. En una realización no limitante, mantener las fases intermetálicas en disolución sólida comprende prevenir el enfriamiento de la temperatura de la aleación de acero inoxidable superaustenítico para intersecar la curva tiempo-temperatura-transformación durante el periodo de tiempo de trabajo de la aleación para calentar al menos una región superficial de la aleación hasta una temperatura en el intervalo de temperatura de recocido. Esto se explica adicionalmente a continuación. En determinadas realizaciones no limitantes de los métodos

de acuerdo con la presente divulgación aplicados a las aleaciones de acero inoxidable superaustenítico, el periodo de tiempo durante el cual la temperatura de la región superficial calentada se mantiene 20 dentro del intervalo de temperatura de trabajo es un tiempo suficiente para recrystalizar granos en la región superficial, disolver cualesquiera fases de precipitado intermetálico perjudiciales que puedan haber precipitado durante la etapa de trabajo 14 debido al enfriamiento no intencionado de la región superficial durante el trabajo 14, y minimizar el crecimiento del grano en la aleación. Se reconocerá que la duración de dicho periodo de tiempo depende de factores entre los que se incluyen la composición de la aleación metálica y las dimensiones (por ejemplo, diámetro o espesor) de la forma de aleación metálica. En determinadas realizaciones no limitantes, la región superficial de la aleación metálica puede mantenerse 20 dentro del intervalo de temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo en un intervalo de 1 minuto a 2 horas, de 5 minutos a 60 minutos, o de 10 minutos a 30 minutos.

En determinadas realizaciones no limitantes de los métodos de acuerdo con la presente divulgación en donde la aleación metálica es una aleación de acero inoxidable superaustenítico, el calentamiento 12 comprende calentar a un intervalo de temperatura de trabajo desde la temperatura del solvus de la fase de precipitado intermetálico hasta exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación metálica. En determinadas realizaciones no limitantes de los métodos de acuerdo con la presente divulgación en donde la aleación metálica es una aleación de acero inoxidable superaustenítico, el intervalo de temperatura de trabajo durante la etapa de trabajo 14, la aleación metálica está entre una temperatura exactamente por debajo de la temperatura del solvus de un precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación metálica y una temperatura exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación metálica.

Sin desear quedar ligado a teoría particular alguna, se cree que los precipitados intermetálicos se forman principalmente en aleaciones de acero inoxidable superaustenítico ya que las cinéticas de precipitación son lo suficientemente rápidas para permitir que se produzca precipitación en la aleación a medida que la temperatura de cualquier porción de la aleación se enfría a una temperatura a o por debajo de la temperatura por debajo de la temperatura de la nariz, o vértice, de la curva de transformación isotérmica de la aleación para la precipitación de una fase intermetálica concreta. La Fig. 4 es una curva de transformación isotérmica 40 ilustrativa, conocida también como un diagrama o curva de tiempo-temperatura-transformación (un "diagrama TTT" o una "curva TTT"). La Fig. 4 predice la cinética para la precipitación de un 0,1 por ciento en peso de fase sigma (fase σ) intermetálica en una aleación de acero inoxidable austenítico. Se observará en la Fig. 4 que la precipitación intermetálica se produce más rápidamente, es decir, en el tiempo más corto, en el vértice 42 o la "nariz" de la curva "C" que comprende la curva de transformación isotérmica 40. Por consiguiente, en una realización no limitante de los métodos de acuerdo con la presente divulgación, con referencia al intervalo de la temperatura de trabajo, la expresión "exactamente por encima de la temperatura del vértice" de un precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación metálica se refiere a una temperatura que está exactamente por encima de la temperatura del vértice 42 de la curva C del diagrama TTT de la aleación específica. En otras realizaciones no limitantes, la expresión "una temperatura exactamente por encima de la temperatura del vértice" se refiere a una temperatura que está en un intervalo de 2,8 °C (5 grados Fahrenheit), o 5,6 °C (10 grados Fahrenheit), u 11,1 °C (20 grados Fahrenheit), o 16,7 °C (30 grados Fahrenheit), o 22,2 °C (40 grados Fahrenheit), o 27,8 °C (50 grados Fahrenheit) por encima de la temperatura del vértice 42 del precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación metálica.

Cuando los métodos de acuerdo con la presente divulgación se llevan a cabo sobre aleaciones de acero inoxidable superaustenítico, la etapa de etapa de enfriamiento 22 de la aleación metálica puede comprender el enfriamiento a una velocidad suficiente para inhibir la precipitación de un precipitado de fase sigma intermetálica en la aleación metálica. En una realización no limitante, una velocidad de enfriamiento está en el intervalo de 0,17 °C (0,3 grados Fahrenheit) por minuto a 5,6 °C (10 grados Fahrenheit) por minuto. Los métodos ilustrativos de enfriamiento de acuerdo con la presente divulgación incluyen, aunque no de forma limitativa, el templeado, tal como, por ejemplo, templeado con agua y templeado con aceite, enfriamiento con aire forzado, y enfriamiento con aire.

En referencia ahora a las Figs. 5-7, de acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, una realización no limitante de un método 50 para procesar una aleación de acero inoxidable superaustenítico se presenta en el diagrama de flujo de la Fig. 5 y los diagramas de tiempo-temperatura en las Figs. 6 y 7.

El método 50 comprende calentar 52 una aleación de acero inoxidable superaustenítico, por ejemplo, a una temperatura en un intervalo de temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica desde la temperatura del solvus del precipitado de fase intermetálica en la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta una temperatura exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico. En una realización específica de un método no limitante para la aleación Datalloy HP™, el intervalo de la temperatura de disolución del precipitado intermetálico es de más de 1038 °C (1 900 °F) hasta 1177 °C (2150 °F). En una realización no limitante, la fase intermetálica es la fase sigma (fase σ), que está comprendida por compuestos intermetálicos de Fe-Cr-Ni.

El acero inoxidable superaustenítico se mantiene 53 en el intervalo de temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica durante un tiempo suficiente para disolver los precipitados de fase intermetálica, y minimizar el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico. En realizaciones no limitantes, una aleación de acero inoxidable superaustenítico o una aleación de acero inoxidable austenítico puede mantenerse en el intervalo

de temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica durante un periodo de tiempo en un intervalo de 1 minuto a 2 horas, de 5 minutos a 60 minutos, o de 10 minutos a 30 minutos. Se reconocerá que el tiempo mínimo requerido para mantener 53 una aleación de acero inoxidable superaustenítico o una aleación de acero inoxidable austenítico en el intervalo de la temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica para disolver el precipitado de fase intermetálica depende de factores entre los que se incluyen, por ejemplo, la composición de la aleación, el espesor de la pieza de trabajo y la temperatura concreta en el intervalo de la temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica que se aplica. Se entenderá que una persona normalmente experta, al tener en cuenta la presente divulgación, podría determinar el tiempo mínimo requerido para la disolución de la fase intermetálica sin experimentación innecesaria.

Tras la etapa de mantenimiento 53, la aleación de acero inoxidable superaustenítico se trabaja 54 a una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo desde exactamente por encima de la temperatura del vértice de la curva TTT para el precipitado de fase intermetálica de la aleación hasta exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación.

Como la región superficial puede no recristalizarse durante el trabajo 54, posteriormente al trabajo de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, y antes de cualquier enfriamiento intencionado de la aleación, al menos una región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se calienta 58 a una temperatura en el intervalo de la temperatura de recocido. En una realización no limitante, el intervalo de temperatura de recocido va desde una temperatura exactamente por encima de la temperatura del vértice (véase, por ejemplo, Fig. 4, punto 42) de la curva de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico.

Opcionalmente, después de trabajar 54 la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la aleación de acero inoxidable superaustenítico puede transferirse 56 a un aparato de calentamiento. En diversas realizaciones no limitantes, el aparato de calentamiento comprende al menos uno de un horno, una estación de calentamiento a la llama, una estación de calentamiento a la llama por inducción, o cualquier otro aparato de calentamiento adecuado conocido por una persona que tiene un conocimiento normalmente experto en la materia. Por ejemplo, un aparato de calentamiento puede estar situado en la estación de trabajo, o las matrices, rodillos, o cualquier aparato de trabajo en la estación de trabajo puede calentarse para minimizar el enfriamiento no intencionado de la región superficial en contacto de la aleación metálica.

Después del trabajo 54, la región superficial de la aleación se calienta 58 a una temperatura en el intervalo de la temperatura de recocido. en la etapa de calentamiento 58, el intervalo de temperatura de recocido va desde una temperatura exactamente por encima de la temperatura del vértice (véase, por ejemplo, Fig. 4, punto 42) de la curva de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase intermetálica de una aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación. La temperatura de la aleación de acero inoxidable superaustenítico no se enfría para intersecar la curva tiempo-temperatura-transformación durante el periodo de tiempo para trabajar 54 la aleación para calentar 58 al menos la región superficial de la aleación a una temperatura en el intervalo de temperatura de recocido. Sin embargo, se reconocerá que como la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se enfría más rápidamente que la región interna de la aleación, existe un riesgo de que la región superficial de la aleación se enfríe por debajo del intervalo de la temperatura de recocido durante el trabajo 54, dando como resultado la precipitación de precipitados de fase intermetálica perjudiciales en la región superficial.

En una realización no limitante, con referencia a las Figs. 5-7, la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se mantiene 60 en el intervalo de la temperatura de recocido durante un periodo de tiempo suficiente para recristalizar la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, y disolver cualesquiera fases de precipitado intermetálico perjudiciales que puedan haber precipitado en la región superficial, sin al mismo tiempo producir un crecimiento de grano excesivo en la aleación.

De nuevo, en referencia a las Figs. 5-7, posteriormente al mantenimiento 60 de la aleación en el intervalo de temperatura de recocido, la aleación se enfría 62 a una velocidad de enfriamiento y a una temperatura suficiente para inhibir la formación del precipitado de fase sigma intermetálica en la aleación de acero inoxidable superaustenítico. En una realización no limitante del método 50, la temperatura de la aleación durante el enfriamiento 62, la aleación está a una temperatura que es menor que la temperatura del vértice de la curva C de un diagrama TTT para la aleación austenítica específica. En otra realización no limitante, la temperatura de la aleación durante el enfriamiento 62 es la temperatura ambiente.

En referencia a diversos aspectos de la presente divulgación, se anticipa que el tamaño del grano de las barras de aleación metálica u otros productos molidos de aleación metálica preparados de acuerdo con diversas realizaciones no limitantes de los métodos de la presente divulgación puede ajustarse alterando las temperaturas usadas en las diversas etapas del método. Por ejemplo, y sin limitación, el tamaño del grano de una región central de una barra de aleación metálica se puede reducir disminuyendo la temperatura a la que se trabaja la aleación metálica en el método. Un método posible para conseguir una reducción del tamaño del grano incluye calentar una forma de aleación metálica

trabajada a una temperatura suficientemente alta para disolver cualquier precipitado intermetálico perjudicial formado durante las etapas de procesamiento anteriores. Por ejemplo, en el caso de la aleación Datalloy HP™, la aleación puede calentarse a una temperatura de aproximadamente 1149 °C (2100 °F), que es una temperatura superior a la temperatura del solvus de fase sigma de la aleación. La temperatura del solvus sigma de los aceros inoxidables superausteníticos que se pueden procesar como se describe en el presente documento normalmente está en el intervalo de 871 °C (1600 °F) a 982 °C (1800 °F). A continuación, la aleación puede enfriarse inmediatamente hasta una temperatura de trabajo de, por ejemplo, aproximadamente 1121 °C (2050 °F) para la aleación Datalloy HP™, sin dejar que la temperatura descienda por debajo de la temperatura del vértice del diagrama TTT para la fase sigma. La aleación puede trabajarse en caliente, por ejemplo, mediante forjado radial, hasta un diámetro deseado, seguido por una transferencia inmediata a un horno para permitir la recristalización de los granos superficiales sin recristalizar, sin dejar que el tiempo de procesamiento entre la temperatura del solvus y la temperatura del vértice del diagrama TTT supere el tiempo para llegar hasta el vértice TTT, o sin dejar que la temperatura de enfriamiento por debajo del vértice del diagrama TTT de la fase sigma durante este periodo, o de tal manera que la temperatura de la aleación de acero inoxidable superaustenítico no se enfríe para intersecar la curva tiempo-temperatura-transformación durante el periodo de tiempo de trabajo de la aleación para calentar al menos una región superficial de la aleación hasta una temperatura en el intervalo de la temperatura de recocido. A continuación, la aleación puede enfriarse a partir de la etapa de recristalización hasta una temperatura y a una velocidad de enfriamiento que inhiba la formación de precipitados intermetálicos perjudiciales en la aleación. Se puede conseguir una velocidad de enfriamiento suficientemente rápida, por ejemplo, templando con agua la aleación.

Se pretende que los ejemplos que siguen describan adicionalmente determinadas realizaciones no limitantes, sin restringir el alcance de la presente invención. Las personas normalmente expertas en la técnica apreciarán que son posibles variaciones de los siguientes ejemplos dentro del alcance de la invención, que se define únicamente por las reivindicaciones.

Ejemplo 1

Se preparó un lingote de 50,8 cm (20 pulgadas) de diámetro de la aleación Datalloy HP™, disponible de ATI Allvac, usando una técnica de fundido convencional combinando etapas de descarburación con argón-oxígeno y refundición por electroescoria. El lingote se homogeneizó a 1204 °C (2200 °F) y se recalzó y estiró con múltiples recalentamientos en una forja de prensa de matriz abierta hasta un diámetro de palanquilla de 31,8 cm (12,5 pulgadas). La palanquilla forjada se procesó adicionalmente mediante las siguientes etapas que se pueden seguir por referencia en la Fig. 6. La palanquilla de 31,8 cm (12,5 pulgadas) de diámetro se calentó (véase, por ejemplo, Fig. 5, etapa 52) a una temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica de 1204 °C (2200 °F), que es una temperatura en el intervalo de la temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica de acuerdo con la presente divulgación, y se mantuvo 53 a la temperatura durante más de 2 horas para solucionar cualquier precipitado de fase sigma intermetálica. La palanquilla se enfrió a 1149 °C (2100 °F), que es una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo, de acuerdo con la presente divulgación, y a continuación se llevó a cabo un forjado radial (54) de una palanquilla con 25 cm (9,84 pulgadas) de diámetro. La palanquilla se transfirió inmediatamente (56) a un conjunto de horno a 1149 °C (2100 °F), que es una temperatura en un intervalo de la temperatura de recocido para esta aleación de acuerdo con la presente divulgación, y al menos una región superficial de la aleación se calentó (58) a la temperatura de recocido. La palanquilla se mantuvo en el horno durante 20 minutos de tal manera que la temperatura de la región superficial se mantuvo (60) en el intervalo de la temperatura de recocido durante un periodo de tiempo suficiente para recristalizar la región superficial y disolver cualquier fase de precipitado intermetálico perjudicial en la región superficial, sin dar como resultado un crecimiento del grano excesivo en la aleación. Se enfrió la palanquilla (62) mediante templado con agua a temperatura ambiente. En la Fig. 8 se muestra la macroestructura resultante a través de la sección transversal de la palanquilla. La macroestructura que se muestra en la Fig. 8 no presenta evidencias de granos sin recristalizar en la región del perímetro externo (es decir, en la región superficial) de la barra forjada. El número del tamaño de grano ASTM del grano equiaxial está entre ASTM 0 y 1.

Ejemplo 2

Se preparó un lingote de 50,8 cm (20 pulgadas) de diámetro de la aleación Datalloy HP™, disponible de ATI Allvac, usando una técnica de fundido convencional combinando etapas de descarburación con argón-oxígeno y refundición por electroescoria. El lingote se homogeneizó a 1204 °C (2200 °F) y se recalzó y estiró con múltiples recalentamientos en una forja de prensa de matriz abierta hasta un diámetro de palanquilla de 31,8 cm (12,5 pulgadas). La palanquilla se sometió a las siguientes etapas de proceso, que se pueden seguir por referencia a la Fig. 7. La palanquilla de 31,8 cm (12,5 pulgadas) de diámetro se calentó (véase, por ejemplo, Fig. 5, etapa 52) a 1149 °C (2100 °F), que es una temperatura en el intervalo de la temperatura de disolución del precipitado de fase intermetálica de acuerdo con la presente divulgación, y se mantuvo (53) a la temperatura durante más de 2 horas para solucionar cualquier precipitado de fase sigma intermetálica. La palanquilla se enfrió a 1121 °C (2050 °F), que es una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo de acuerdo con la presente divulgación, y a continuación se llevó a cabo un forjado radial (54) de una palanquilla con 25 cm (9,84 pulgadas) de diámetro. La palanquilla se transfirió inmediatamente (56) a un conjunto de horno a 1121 °C (2050 °F), que es una temperatura en un intervalo de la temperatura de recocido para esta aleación de acuerdo con la presente divulgación, y al menos una región superficial de la aleación se calentó (58) a la temperatura de recocido. La palanquilla se mantuvo en el horno durante 45 minutos

- de tal manera que la temperatura de la región superficial se mantuvo (60) en el intervalo de la temperatura de recocido durante un periodo de tiempo suficiente para recrystalizar la región superficial y disolver cualquier fase de precipitado intermetálico perjudicial en la región superficial, sin dar como resultado un crecimiento del grano excesivo en la aleación. Se enfrió la palanquilla (62) mediante templado con agua a temperatura ambiente. En la Fig. 9 se muestra la macroestructura resultante a través de la sección transversal de la palanquilla. La macroestructura que se muestra en la Fig. 9 no presenta evidencias de granos sin recrystalizar en la región del perímetro externo (es decir, en la región superficial) de la barra forjada. El número del tamaño de grano ASTM del grano equiaxial es ASTM 3.
- 5
- 10 Debe entenderse que la presente descripción ilustra aquellos aspectos de la invención relevantes para una comprensión clara de la invención. Determinados aspectos de la invención que resultarían evidentes para aquellas personas normalmente expertas en la materia y que, por lo tanto, no facilitarían una mejor comprensión de la invención no se han presentado con el fin de simplificar la presente descripción. Aunque solo un número limitado de realizaciones de la presente invención se describen necesariamente en el presente documento, una persona normalmente experta en la materia, tras considerar la descripción anterior, reconocerá que pueden emplearse muchas modificaciones y variaciones de la invención. Todas las variaciones y modificaciones de la invención pretenden estar cubiertas por la descripción anterior y las siguientes reivindicaciones.
- 15

REIVINDICACIONES

1. Un método para procesar una aleación de acero inoxidable superaustenítico, en donde la aleación de acero inoxidable superaustenítico comprende menos de un 50 por ciento en peso de hierro basado en el peso total de la aleación, comprendiendo el método:
- 5
- calentar la aleación de acero inoxidable superaustenítico a una temperatura en un intervalo de la temperatura de trabajo, en donde la aleación de acero inoxidable superaustenítico comprende en porcentaje en peso basado en el peso total de la aleación: hasta 0,2 de carbono; hasta 20 de manganeso; 0,1 a 1,0 de silicio; 14,0 a 28,0 de cromo; 15,0 a 38,0 de níquel; 2,0 a 9,0 de molibdeno; 0,1 a 3,0 de cobre; 0,08 a 0,9 de nitrógeno; 0,1 a 5,0 de tungsteno; 0,5 a 5,0 cobalto; hasta 1,0 de titanio; hasta 0,05 de boro; hasta 0,05 de fósforo; hasta 0,05 de azufre; y un equilibrio de hierro e impurezas incidentales, y en donde la temperatura de trabajo varía desde la temperatura del solvus del precipitado de fase intermetálica en la aleación de acero inoxidable superaustenítico a una temperatura exactamente por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico;
- 10
- trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico en el intervalo de la temperatura de trabajo; calentar al menos una región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo, en donde la temperatura de la aleación de acero inoxidable superaustenítico no interseca una curva de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico durante un periodo de tiempo desde el trabajo de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta el calentamiento de al menos la región superficial;
- 15
- mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico dentro del intervalo de la temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo suficiente para recrystalizar la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico y minimizar el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico; y
- 20
- enfriar la aleación de acero inoxidable superaustenítico a una velocidad de enfriamiento que minimiza el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico.
- 25
2. El método de la reivindicación 1, en donde la etapa de mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico en el intervalo de la temperatura de trabajo durante un periodo de tiempo para recrystalizar la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico comprende mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico dentro del intervalo de la temperatura de trabajo durante 5 minutos a 60 minutos.
- 30
3. El método de la reivindicación 1, en donde, en la etapa de trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la aleación de acero inoxidable superaustenítico se trabaja en un intervalo de temperatura desde por encima de una temperatura de vértice del diagrama de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico; y
- 35
- en donde, en la etapa de mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se mantiene en un intervalo de temperatura desde por encima de una temperatura del vértice del diagrama de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico.
- 40
4. El método de la reivindicación 3, en donde en la etapa de mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se mantiene dentro de un intervalo de temperatura desde por encima de una temperatura del vértice del diagrama de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico durante un tiempo suficiente para recrystalizar la región superficial, la puesta en solución del precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico en la región superficial y minimizar el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico.
- 45
5. El método de la reivindicación 3, en donde en la etapa de mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico se mantiene dentro de un intervalo de temperatura desde por encima de la temperatura del vértice de un diagrama de tiempo-temperatura-transformación para el para el precipitado de fase sigma intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico durante de 5 minutos a 60 minutos.
- 50
6. El método de la reivindicación 3, en donde en la etapa de enfriamiento, la velocidad de enfriamiento de la aleación de acero inoxidable superaustenítico es suficiente para inhibir la precipitación de un precipitado de fase sigma intermetálica en la aleación de acero inoxidable superaustenítico.
- 55
- 60
- 65

7. Un método para procesar una aleación de acero inoxidable superaustenítico de acuerdo con la reivindicación 1, comprendiendo el método:

5 calentar la aleación de acero inoxidable superaustenítico a una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo;
 mantener el acero inoxidable superaustenítico en el intervalo de la temperatura de trabajo durante un tiempo suficiente para disolver un precipitado intermetálico de fase en la aleación de acero inoxidable superaustenítico y minimizar el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico;
 10 trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico en el intervalo de temperatura de trabajo desde por encima de una temperatura de vértice de una curva tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta por debajo de la temperatura de fundido incipiente de la aleación de acero inoxidable superaustenítico;
 15 calentar al menos una región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta una temperatura en el intervalo de la temperatura de trabajo, en donde la aleación de acero inoxidable superaustenítico no interseca la curva de tiempo-temperatura-transformación para el precipitado de fase intermetálica de la aleación de acero inoxidable superaustenítico durante el periodo de tiempo desde trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico hasta calentar al menos la región superficial del acero inoxidable superaustenítico;
 20 mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico en el intervalo de la temperatura de trabajo durante un tiempo de mantenimiento suficiente para recrystalizar la región superficial y minimizar el crecimiento del grano en la aleación de acero inoxidable superaustenítico; y
 enfriar la aleación de acero inoxidable superaustenítico a una velocidad de enfriamiento que inhibe la formación del precipitado de la fase intermetálica y minimiza el crecimiento del grano.

25 8. El método de la reivindicación 7, en donde la fase de precipitado intermetálica comprende la fase sigma.

9. El método de la reivindicación 7, que adicionalmente comprende, entre la etapa de trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico y la etapa de calentar al menos una región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, transferir la aleación de acero inoxidable superaustenítico a un aparato de calentamiento.

30 10. El método de cualquiera de las reivindicaciones 1, 3 y 7, en donde la etapa de trabajar la aleación de acero inoxidable superaustenítico comprende al menos uno de forjar, laminar, laminar con desbastado, extrudir, y formar la aleación de acero inoxidable superaustenítico.

35 11. El método de la reivindicación 7, en donde, en la etapa de mantener la región superficial de la aleación de acero inoxidable superaustenítico, la región superficial se mantiene dentro del intervalo de la temperatura de trabajo durante de 1 minuto a 2 horas.

40 12. El método de cualquiera de las reivindicaciones 3 y 7, en donde la etapa de enfriar la aleación de acero inoxidable superaustenítico comprende uno de templado, enfriamiento forzado con aire y enfriamiento con aire de la aleación de acero inoxidable superaustenítico.

45 13. El método como en cualquiera de las reivindicaciones 1, 3 o 7, en donde la velocidad de enfriamiento está en el intervalo de 0,17 °C por minuto a 5,56 °C por minuto (0,3 grados Fahrenheit por minuto a 10 grados Fahrenheit por minuto).

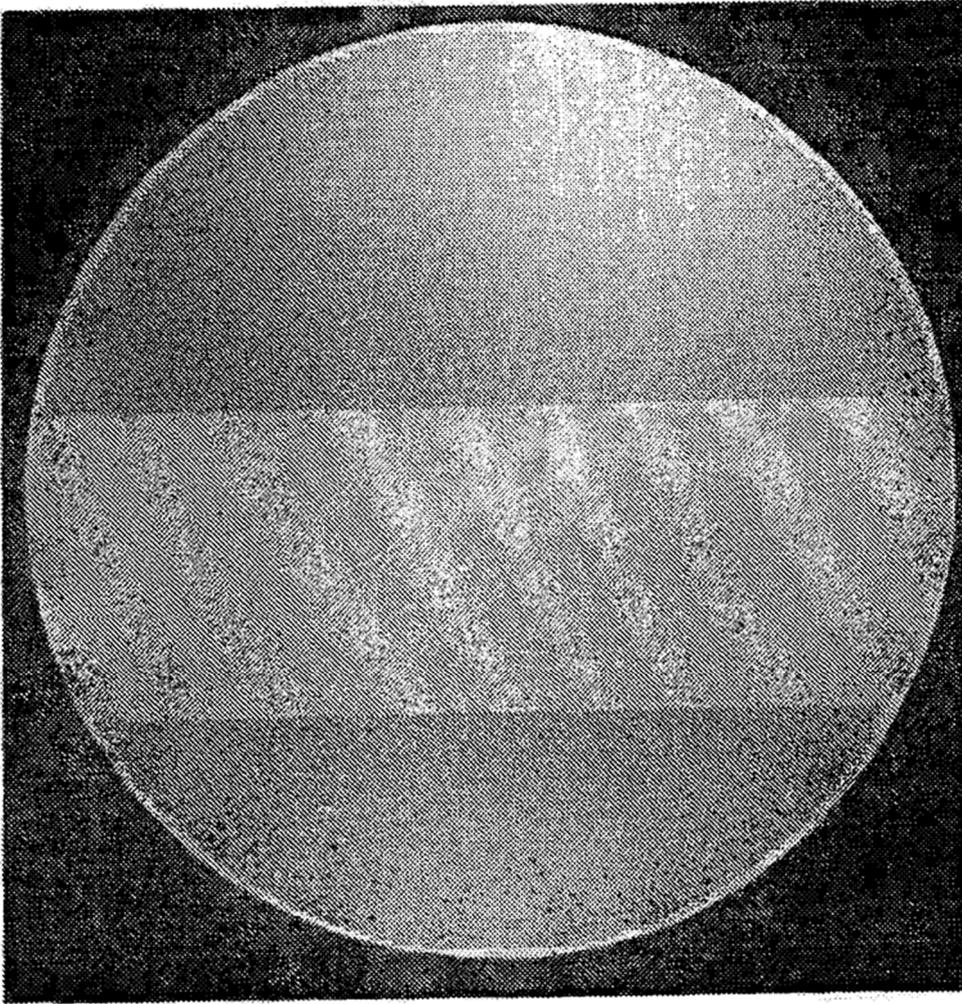


FIG. 1
Técnica anterior

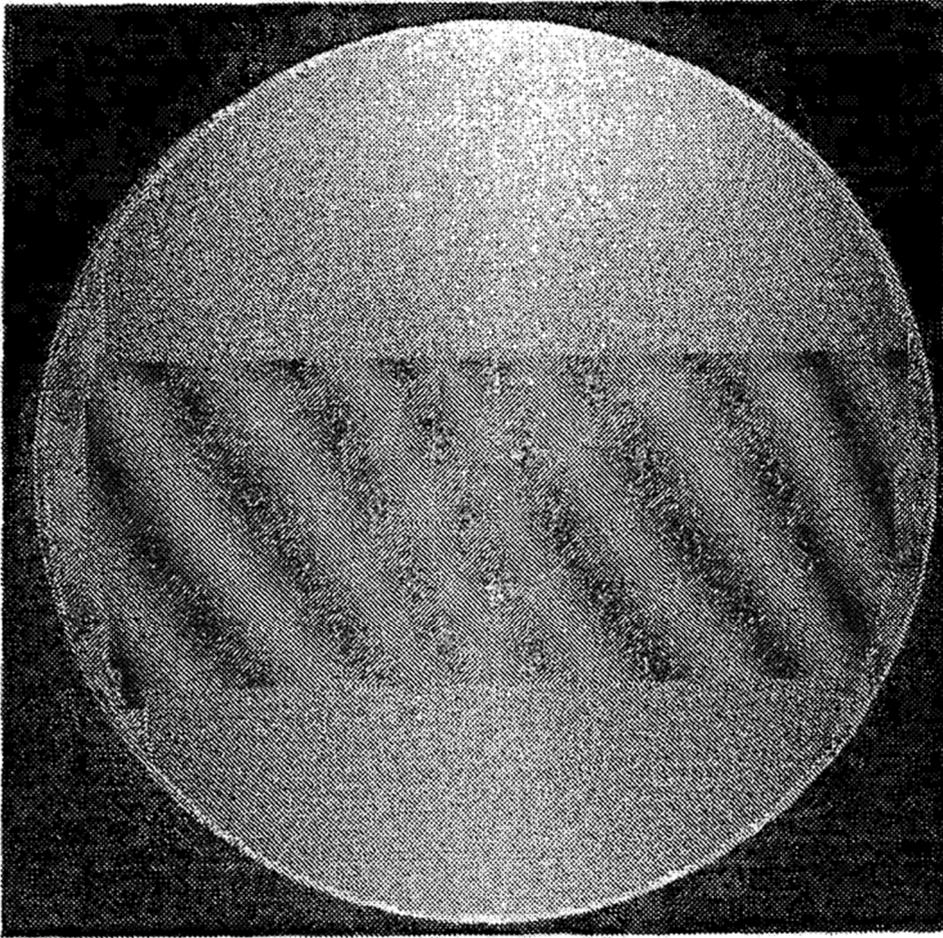


FIG. 2
Técnica anterior

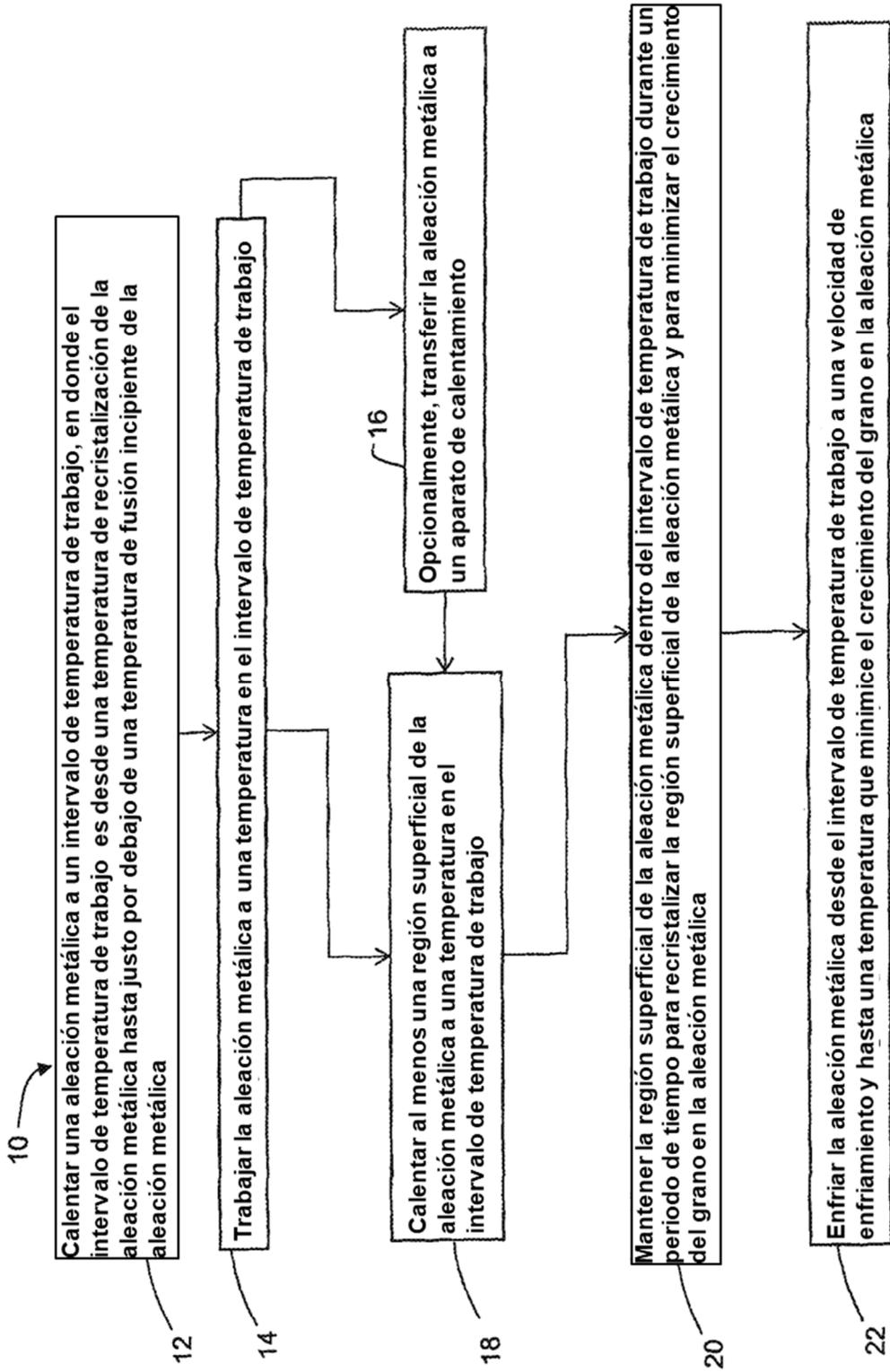


FIG. 3

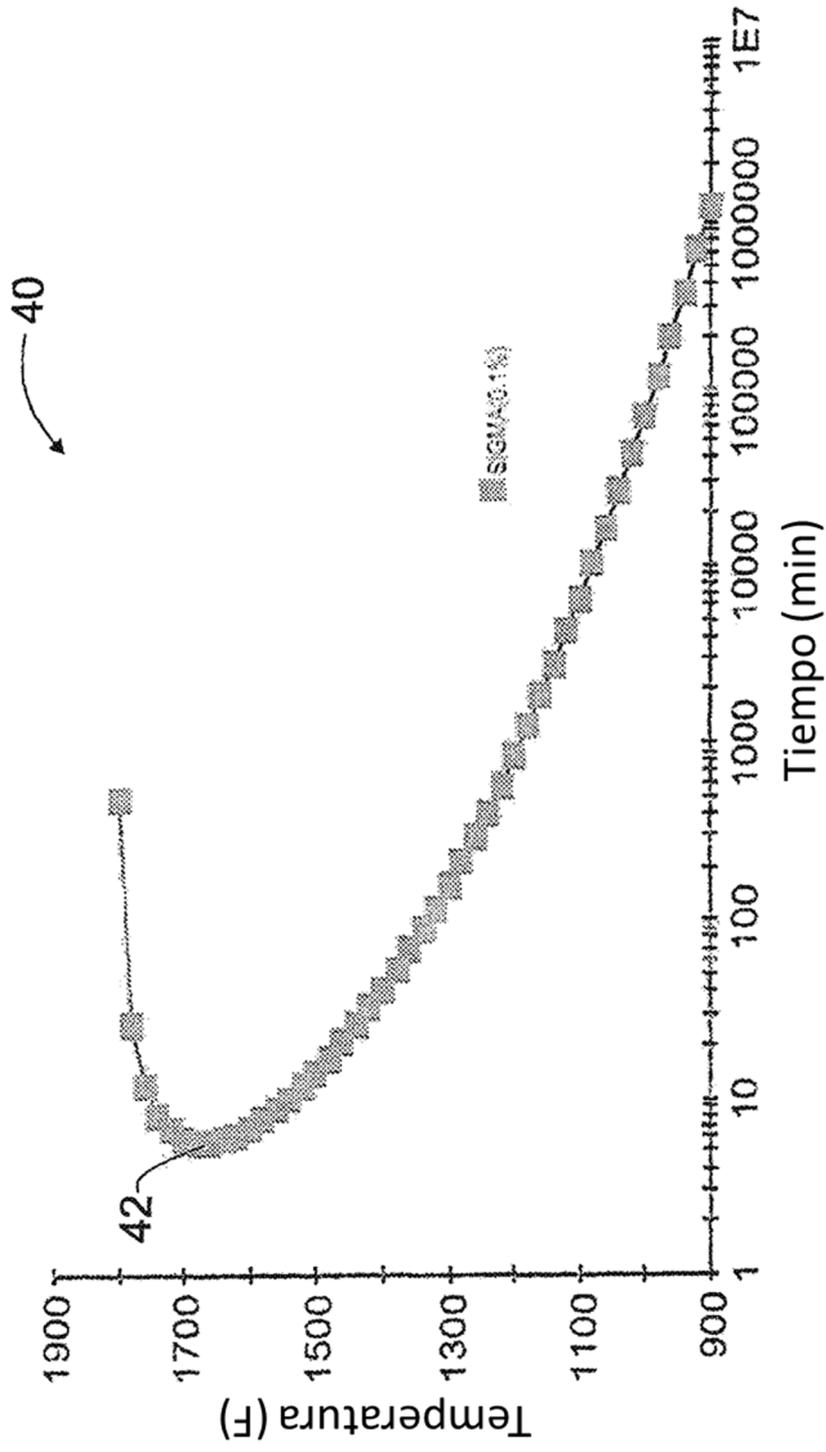


FIG. 4

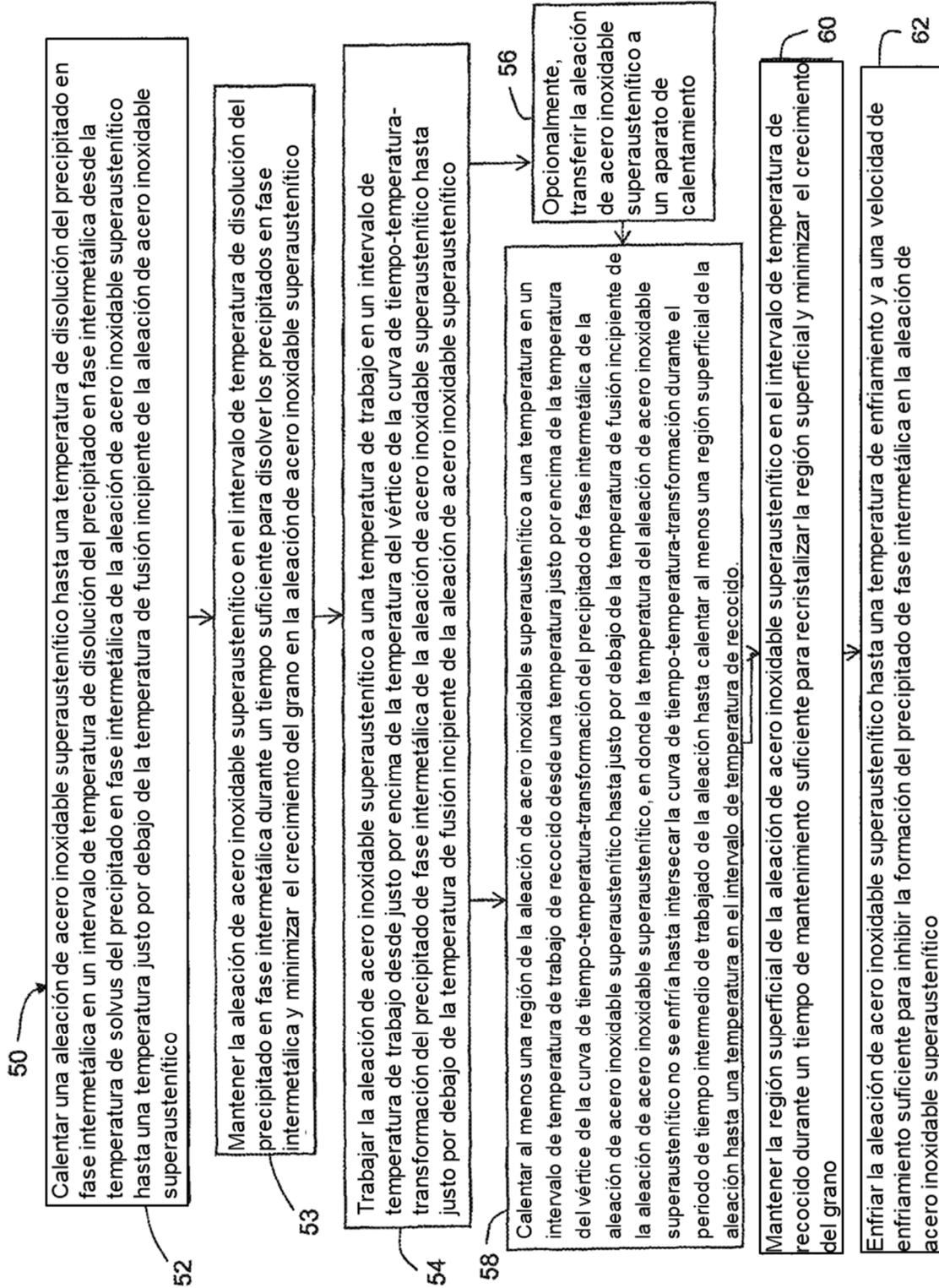


FIG. 5

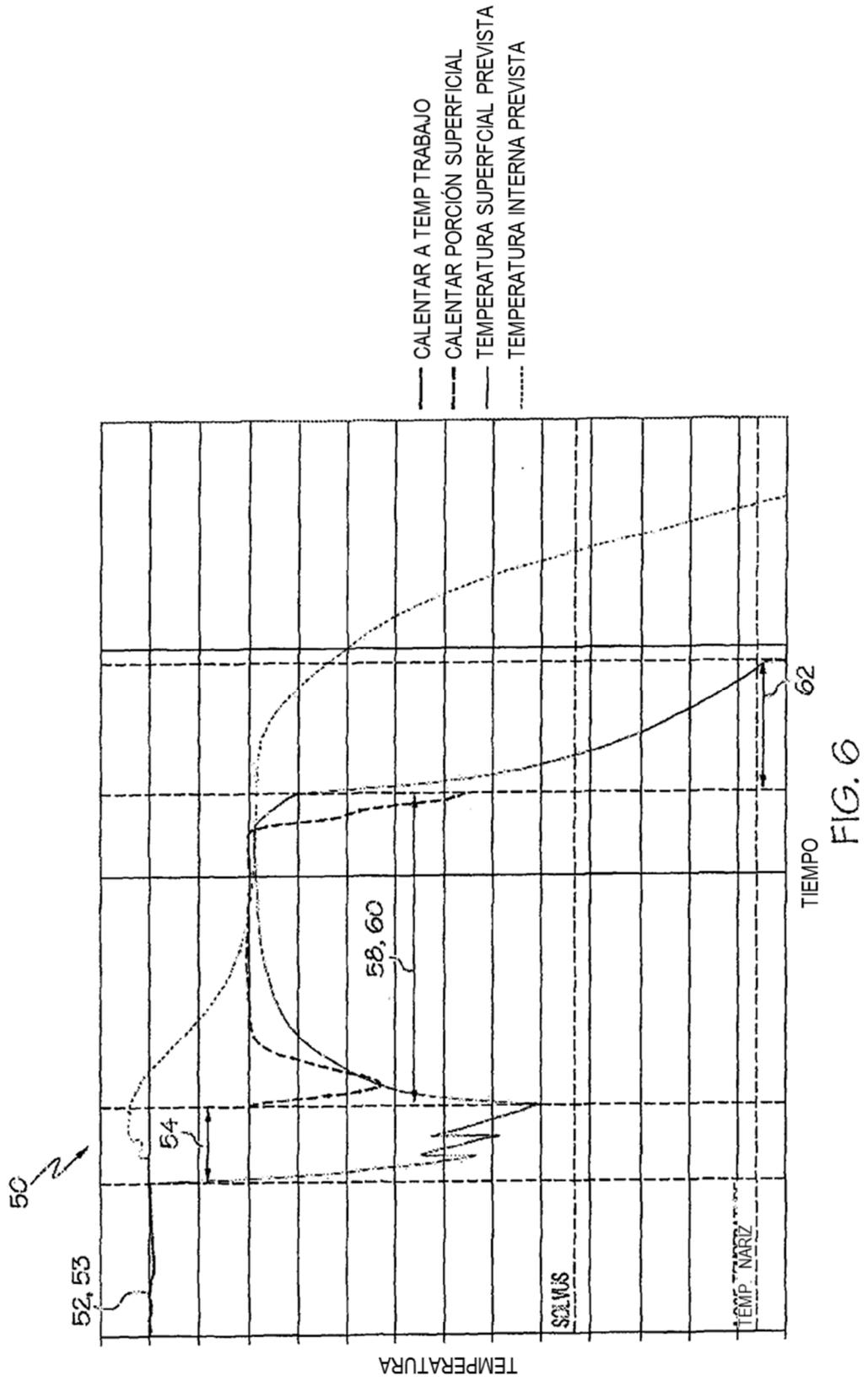


FIG. 6

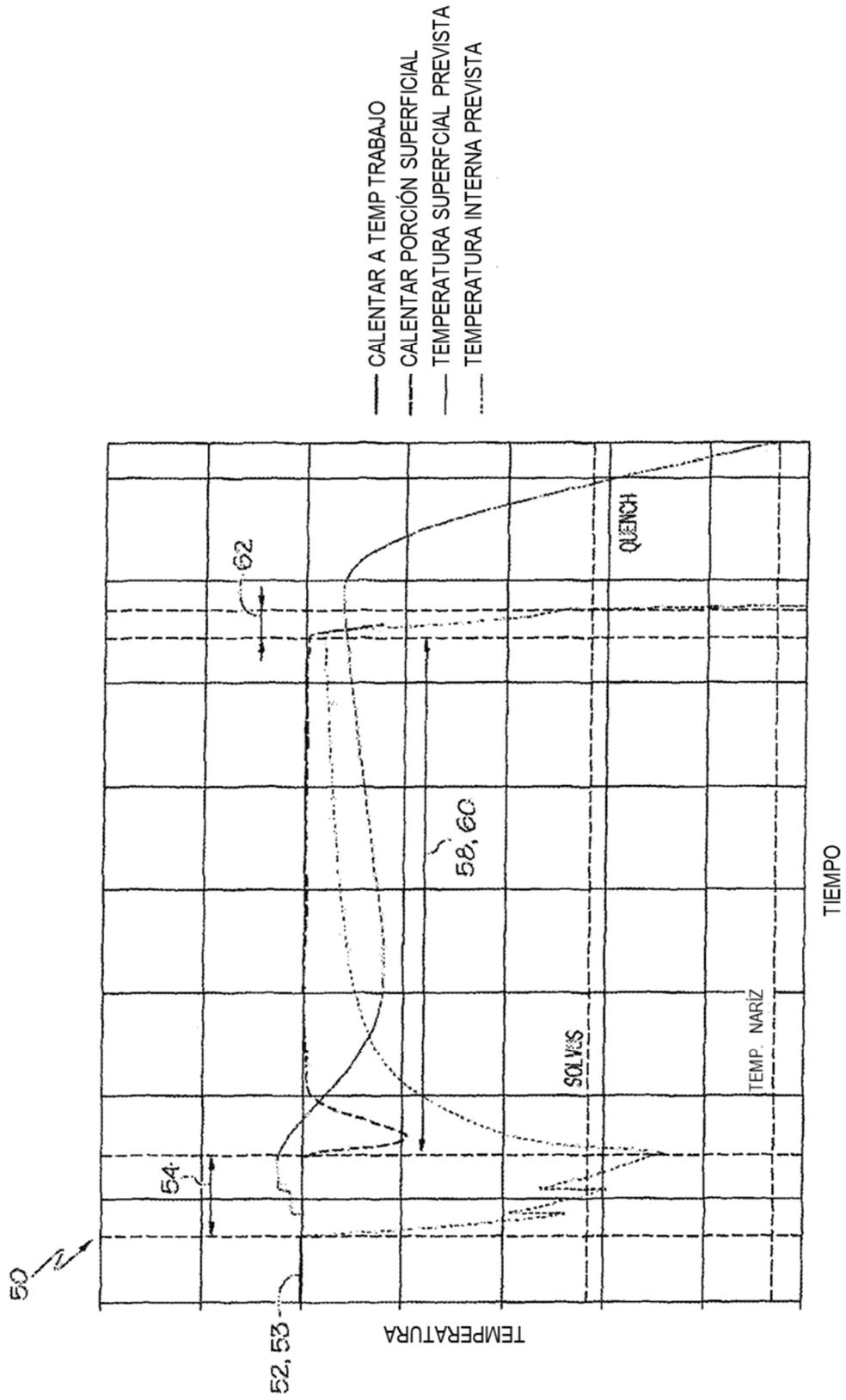


FIG. 7

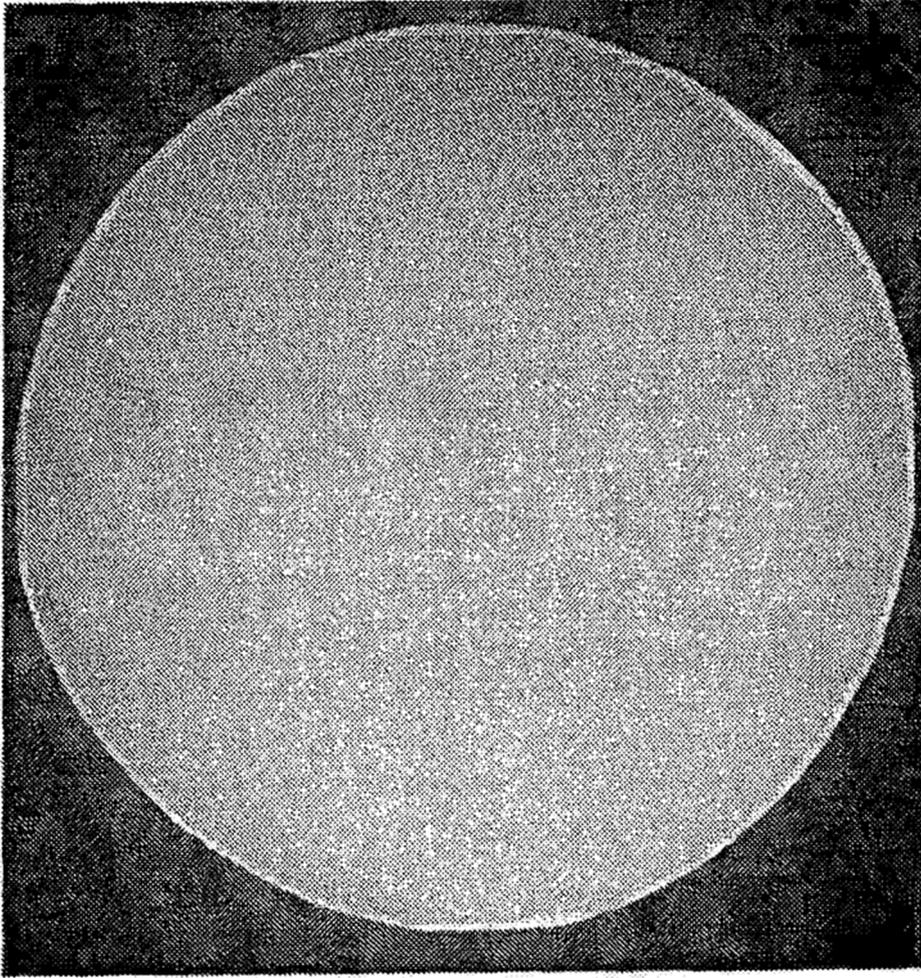


FIG. 8

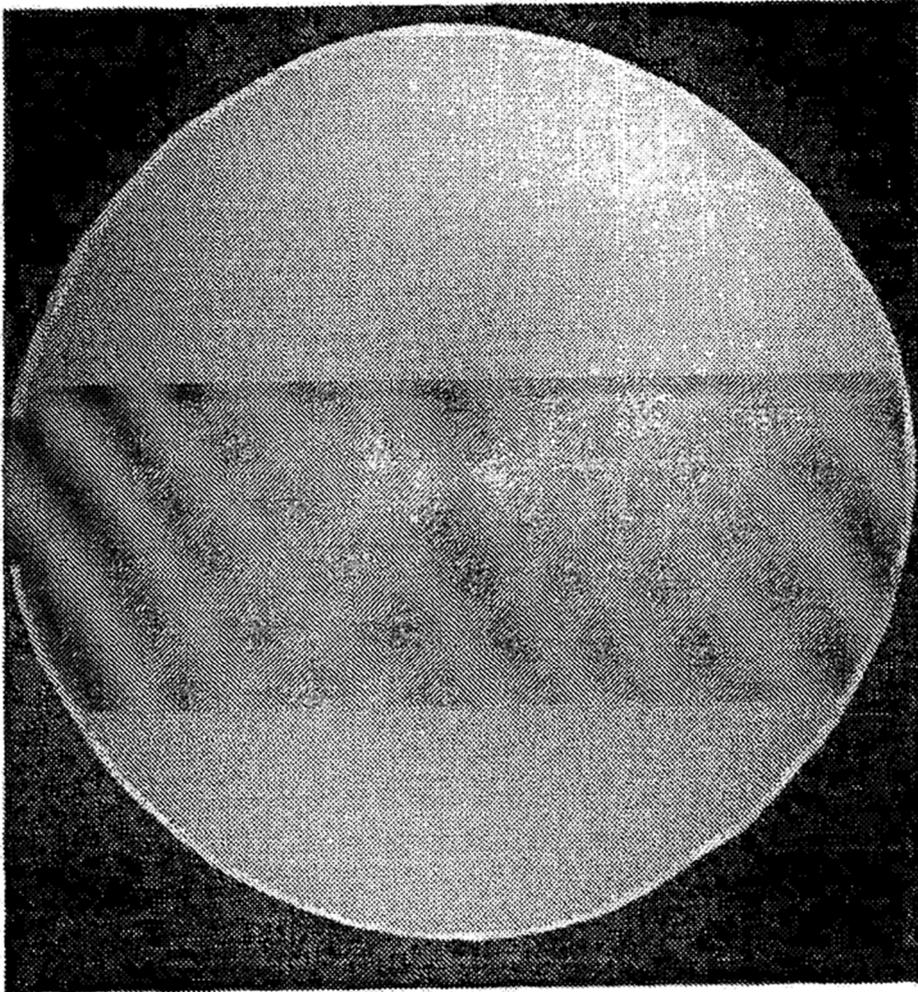


FIG. 9