

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 930 080**

51 Int. Cl.:

C22F 1/08 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

C22C 9/06 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **12.03.2014** **E 18203517 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **24.08.2022** **EP 3461923**

54 Título: **Tamaño de grano uniforme en aleación de cobre espinodal trabajada en caliente**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201361793690 P

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

07.12.2022

73 Titular/es:

MATERION CORPORATION (100.0%)

6070 Parkland Blvd.

Mayfield Heights, OH 44124, US

72 Inventor/es:

LONGENBERGER, EDWARD

74 Agente/Representante:

IZQUIERDO BLANCO, María Alicia

ES 2 930 080 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

Tamaño de grano uniforme en aleación de cobre espinodal trabajada en caliente

5 **ANTECEDENTES**

La presente divulgación se refiere a procesos para producir aleaciones espinodales de Cu-Ni-Sn trabajadas en caliente de tamaño de grano uniforme. Generalmente, el proceso puede usarse para crear aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme sin someterlas a un paso de homogeneización y sin agrietamiento. En lugar de un paso de homogeneización, las aleaciones de metal recién coladas se someten a pasos de tratamiento térmico particulares para producir aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme.

La EP 2 241 643 A1 proporciona una lámina de aleación de Cu-Ni-Sn-P que satisface la propiedad de resistencia de la relajación de tensión en la dirección perpendicular a la dirección de laminado y que es excelente en las otras propiedades necesarias como terminales y conectores.

La US 4,260,432A divulga aleaciones que contienen Cu, Ni, Sn y cantidades prescritas de Mo, Nb, Ta, V o Fe. En tales aleaciones se desarrolla una estructura predominantemente espinodal mediante un tratamiento que requiere recocido, templado y envejecimiento, y que no requiere trabajo en frío para desarrollar las propiedades de la aleación.

La US 2002/122722 A1 divulga un motor de lodo mejorado para perforar orificios en formaciones subterráneas, que está formado de una aleación no magnética que contiene no más del 0,1% en peso de hierro.

La JP 2009/242895 A proporciona una aleación de cobre a base de Ni-Sn que tiene una alta resistencia y una procesabilidad de flexión satisfactoria, y es adecuada para un material de resorte para piezas electrónicas.

Los procesos para crear aleaciones metálicas de tamaño de grano uniforme incluyen tradicionalmente un paso de homogeneización combinado con otros pasos de tratamiento térmico y/o trabajo en frío. La homogeneización es un término genérico usado generalmente para describir un tratamiento térmico diseñado para corregir deficiencias microscópicas en la distribución de elementos solutos y la modificación de estructuras intermetálicas presentes en las interfases. Un resultado aceptable del proceso de homogeneización es que la distribución elemental de un metal recién colado se vuelve más uniforme. Otro resultado incluye la formación de grandes partículas intermetálicas que se forman durante la fundición y pueden fracturarse y eliminarse durante el calentamiento.

Normalmente se requieren procedimientos de homogeneización antes de realizar el laminado en frío u otros procedimientos de trabajo en caliente para convertir un metal en una forma más utilizable y/o para mejorar las propiedades finales del producto laminado. La homogeneización se lleva a cabo para equilibrar los gradientes de concentración microscópicos. La homogeneización normalmente se realiza calentando la pieza fundida a una temperatura elevada (por encima de una temperatura de transición, típicamente cerca de su punto de fusión) durante unas pocas horas hasta varios días, sin que se realice ningún trabajo mecánico en la pieza fundida, y luego volviendo a enfriar a temperatura ambiente.

La necesidad del paso de homogeneización es el resultado de las deficiencias de la microestructura que se encuentran en el producto colado como resultado de las etapas iniciales o las etapas finales de la solidificación. Tales deficiencias incluyen el tamaño de grano no uniforme y la segregación química. Las grietas posteriores a la solidificación están provocadas por tensiones macroscópicas que se desarrollan durante la fundición, lo que hace que se formen grietas de manera transgranular antes de que se haya completado la solidificación. Las grietas previas a la solidificación también están provocadas por tensiones macroscópicas que se desarrollan durante la fundición.

Los procesos tradicionales de producción de tamaño de grano uniforme tienen limitaciones reconocidas. Principalmente, generalmente requieren un paso de homogeneización, lo que puede provocar tensiones macroscópicas innecesarias que promueven el agrietamiento.

Sería deseable proporcionar procesos para generar aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme sin realizar un paso de homogeneización. Tales métodos serían ventajosos ya que reducen la posibilidad de que se produzcan tensiones macroscópicas y grietas en las aleaciones espinodales.

60 **BREVE DESCRIPCIÓN**

La presente invención se refiere a un artículo como se define en la reivindicación 1. Generalmente, no se necesita ningún paso de homogeneización. En términos muy generales, una pieza fundida de la aleación se calienta, luego se trabaja en caliente y luego se enfría al aire a temperatura ambiente. Este calentamiento-trabajo en caliente-

enfriamiento al aire se repite. La pieza de trabajo resultante tiene un tamaño de grano uniforme. Se descubrió inesperadamente que una aleación con un alto contenido de soluto no requiere un tratamiento de homogeneización térmica separado y que el trabajo mecánico a una temperatura más baja antes del trabajo mecánico a una temperatura más alta da como resultado una estructura de grano uniforme.

La primera temperatura ambiente y la temperatura ambiente final son generalmente la temperatura ambiente, es decir, 23° C-25° C.

La aleación espinodal recién colada es una aleación de cobre-níquel-estaño. La aleación de cobre-níquel-estaño comprende del 8 al 20% en peso de níquel y del 5 al 11% en peso de estaño, siendo el resto cobre. En realizaciones más particulares, la aleación espinodal recién colada de cobre-níquel-estaño comprende del 8 al 10% en peso de níquel y del 5 al 8% en peso de estaño.

La primera reducción de trabajo en caliente reduce el área de la pieza fundida en por lo menos un 30%. De manera similar, la segunda primera reducción de trabajo en caliente reduce el área de la pieza fundida en por lo menos un 30%.

El primer período de tiempo es de aproximadamente 12 horas; y la primera temperatura es de 732° C (1350° F). El segundo período de tiempo es de 16 horas a 48 horas; y la segunda temperatura es 927° C (1700° F).

A continuación se analizan más completamente estas y otras características no limitativas de la presente divulgación.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

Lo siguiente es una breve descripción de los dibujos, que se presentan con el propósito de ilustrar las realizaciones ejemplares divulgadas en la presente y no con el propósito de limitar la misma.

La **FIG. 1** es un diagrama de flujo para un proceso ejemplar de producción de una aleación espinodal trabajada en caliente de tamaño de grano uniforme de acuerdo con la presente invención.

La **FIG. 2** es un diagrama de flujo para un proceso de referencia de producción de una aleación espinodal trabajada en caliente de tamaño de grano uniforme que no entra dentro del alcance de las reivindicaciones.

La **FIG. 3** es un diagrama de flujo de datos experimentales comparativos que indican que más de la mitad de los cilindros de aleación espinodal de Cu-Ni-Sn se agrietan cuando se someten a enfriamiento por aire o enfriamiento en horno a 954° C (1750° F) bajo compresión después de realizar la homogeneización en los cilindros.

La **FIG. 4** es un gráfico de datos comparativos que muestra un proceso tradicional de (1) un paso de homogeneización a 927° C (1700° F) durante 3 días, (2) recalentamiento a 649° C (1200° F) durante 1 día y luego trabajo en caliente, y (3) un segundo recalentamiento a 954° C (1750° F) durante 1 día y un segundo trabajo en caliente, donde los tres pasos van seguidos de templado en agua.

La **FIG. 5** es un gráfico de datos comparativos que muestra un procedimiento modificado que incluye los mismos pasos (1-3) que se usan en la **FIG. 4**, pero usando enfriamiento con aire después de cada paso en lugar de enfriamiento con agua.

La **FIG. 6** es un gráfico de datos que muestra un proceso ejemplar para formar aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme de acuerdo con la presente invención. En este proceso ejemplar no hay ningún paso de homogeneización.

La **FIG. 7** es un gráfico de datos que muestra un proceso de referencia para formar aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme que no entra dentro del alcance de las reivindicaciones usando una temperatura más baja durante el segundo trabajo en caliente.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

Puede obtenerse una comprensión más completa de los componentes, procesos y aparatos divulgados en la presente haciendo referencia a los dibujos acompañantes. Estas figuras son meras representaciones esquemáticas basadas en la conveniencia y la facilidad de demostrar la presente divulgación y, por lo tanto, no se pretende que indiquen el tamaño y las dimensiones relativas de los dispositivos o componentes de la misma y/o definan o limiten el alcance de las realizaciones ejemplares.

Aunque en la siguiente descripción se usan términos específicos en aras de la claridad, se pretende que estos términos se refieran únicamente a la estructura particular de las realizaciones seleccionadas para ilustración en los dibujos, y no se pretende que definan o limiten el alcance de la divulgación. En los dibujos y en la descripción que sigue a continuación, debe entenderse que las designaciones numéricas similares se refieren a componentes con función similar.

Como se usa en la memoria descriptiva y en las reivindicaciones, el término "que comprende" puede incluir

las realizaciones "que consiste en" y "que consiste esencialmente en". Los términos "comprende(n)", "incluye(n)", "que tiene", "tiene", "puede", "contiene(n)" y variantes de los mismos, como se usan en la presente, se pretende que sean frases, términos o palabras de transición abiertos que requieren la presencia de los ingredientes/pasos mencionados y permiten la presencia de otros ingredientes/pasos. Sin embargo, debe interpretarse que dicha descripción también describe composiciones o procesos como "que consisten en" y "que consisten esencialmente en" los ingredientes/pasos enumerados, lo que permite la presencia únicamente de los ingredientes/pasos mencionados, junto con cualquier impureza que pueda resultar de los mismos, y excluye otros ingredientes/pasos.

Debe entenderse que los valores numéricos en la memoria descriptiva y las reivindicaciones de esta solicitud incluyen valores numéricos que son iguales cuando se reducen al mismo número de cifras significativas y valores numéricos que difieren del valor establecido por menos que el error experimental de la técnica de medición convencional del tipo descrito en la presente solicitud para determinar el valor.

Todos los intervalos divulgados en la presente incluyen el punto final enumerado y pueden combinarse independientemente (por ejemplo, el intervalo de "de 2 gramos a 10 gramos" incluye los puntos finales, 2 gramos y 10 gramos, y todos los valores intermedios).

Un valor modificado por un término o términos, como "aproximadamente" y "sustancialmente", puede no limitarse al valor preciso especificado. El lenguaje de aproximación puede corresponder a la precisión de un instrumento para medir el valor. También debe considerarse que el modificador "aproximadamente" divulga el intervalo definido por los valores absolutos de los dos puntos finales. Por ejemplo, la expresión "de aproximadamente 2 a aproximadamente 4" también divulga el intervalo "de 2 a 4".

Como se usa en la presente, el término "aleación espinodal" se refiere a una aleación cuya composición química es tal que es capaz de experimentar una descomposición espinodal. El término "aleación espinodal" se refiere a la química de la aleación, no al estado físico. Por lo tanto, una "aleación espinodal" puede haber experimentado descomposición espinodal o no y puede estar en proceso de experimentar descomposición espinodal o no.

El envejecimiento/descomposición espinodal es un mecanismo por el cual múltiples componentes pueden separarse en regiones o microestructuras distintas con diferentes composiciones químicas y propiedades físicas. En particular, los cristales con composición a granel en la región central de un diagrama de fase experimentan una disolución.

Los pasos de procesamiento convencionales para las aleaciones espinodales incluyen la homogeneización y el trabajo en caliente a temperaturas elevadas. Estos procesos comienzan a altas temperaturas y descienden en cascada a temperaturas más bajas a medida que se procesa el material. Las microestructuras heterogéneas generalmente son el resultado de estos procesos. Generalmente se desean microestructuras uniformes, ya que esto indica propiedades uniformes en toda la aleación. La obtención de microestructuras uniformes puede ser difícil en aleaciones espinodales que pueden tener múltiples fases presentes. La presente divulgación se refiere a procesos para convertir una aleación espinodal recién colada en un producto forjado de tamaño de grano uniforme.

Con referencia a la **FIG. 1**, un proceso ejemplar (**S100**) para producir una aleación espinodal con un tamaño de grano uniforme producido de acuerdo con la presente invención mediante trabajo en caliente comienza en **S101**. En **S102**, se proporciona una aleación espinodal recién colada. En **S104**, la aleación espinodal recién colada se calienta a una primera temperatura entre 704° C (1300° F) y 760° C (1400° F), es decir, 732° C (1350° F), durante aproximadamente 12 horas y luego trabajado en caliente. En **S106**, la aleación espinodal se enfría con aire. En **S108**, la aleación espinodal se calienta por segunda vez a una segunda temperatura de 927° C (1700° F) durante un segundo período de tiempo. En **S110**, la aleación espinodal se calienta a una tercera temperatura más alta de 954° C (1750° F) durante aproximadamente 4 horas. En **S112**, se realiza una segunda reducción de trabajo en caliente. En **S114**, la aleación espinodal se enfría con aire. Se forma una aleación espinodal con tamaño de grano uniforme sin grietas y sin realizar homogeneización.

Con referencia a la **FIG. 2**, un proceso de referencia (**S200**) para producir una aleación espinodal con un tamaño de grano uniforme mediante trabajo en caliente que no entra dentro del alcance de las reivindicaciones comienza en **S201**. En **S202**, se proporciona una aleación espinodal recién colada. En **S204**, la aleación espinodal recién colada se calienta a entre 704° C (1300° F) y 760° C (1400° F) durante aproximadamente 12 horas y luego se trabaja en caliente. En **S206**, la aleación espinodal se enfría con aire. En **S108**, la aleación espinodal se calienta por segunda vez a una segunda temperatura de 927° C (1700° F) durante un segundo período de tiempo. En **S210**, la aleación espinodal se enfría a una tercera temperatura de 871° C (1600° F) durante aproximadamente 4 horas. En **S212**, se realiza una segunda reducción de trabajo en caliente. En **S214**, la aleación espinodal se enfría con aire. Se forma una aleación espinodal con tamaño de grano uniforme sin grietas y sin realizar homogeneización.

En realizaciones similares a la de la **FIG. 2** que no entra dentro del alcance de las reivindicaciones, la tercera temperatura es por lo menos 10° C (50° F) más baja que la segunda temperatura, y el tercer período de

tiempo es de 2 horas a 6 horas, y la pieza fundida se enfría al aire desde el segundo temperatura hasta la tercera temperatura.

Se observa que las temperaturas a las que se hace referencia en la presente son la temperatura de la atmósfera a la que se expone la aleación, o a la que se ajusta el horno; la propia aleación no alcanza necesariamente estas temperaturas.

Como se ha analizado anteriormente, se usa enfriamiento con aire para los pasos de enfriamiento de los procesos descritos en la presente. En este sentido, el enfriamiento de la aleación/pieza fundida puede realizarse mediante tres métodos diferentes: templado con agua, enfriamiento en horno y enfriamiento con aire. En el templado con agua, la pieza fundida se sumerge en agua. Este tipo de templado cambia rápidamente la temperatura de la pieza fundida y generalmente da como resultado una única fase. En el enfriamiento en horno, el horno se apaga y la con la pieza fundida dentro del horno. Como resultado, la pieza fundida se enfría al mismo ritmo que el aire en el horno. En el enfriamiento con aire, la pieza fundida se retira del horno y se expone a la temperatura ambiente. Si se desea, el enfriamiento con aire puede ser activo, es decir, se sopla aire ambiental hacia la pieza fundida. La pieza fundida se enfría a un ritmo más rápido con enfriamiento con aire en comparación con el enfriamiento en horno.

Las reducciones de trabajo en caliente realizadas en la pieza fundida generalmente reducen el área de la pieza fundida en por lo menos un 30%. El grado de reducción puede determinarse midiendo el cambio en el área de la sección transversal de la aleación antes y después del trabajo en caliente, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\%HW = 100 * [A_0 - A_f] / A_0$$

donde A_0 es el área de la sección transversal inicial u original antes del trabajo en caliente, y A_f es el área de la sección transversal final después del trabajo en caliente. Se observa que el cambio en el área de la sección transversal habitualmente se debe únicamente a cambios en el espesor de la aleación, por lo que el %HW también puede calcularse usando el espesor inicial y final.

La aleación de cobre es una aleación espinodal. Las aleaciones espinodales, en la mayoría de los casos, muestran una anomalía en su diagrama de fase denominada brecha de miscibilidad. Dentro del intervalo de temperatura relativamente estrecho de la brecha de miscibilidad, el ordenamiento atómico tiene lugar dentro de la estructura de red cristalina existente. La estructura de dos fases resultante es estable a temperaturas significativamente por debajo de la brecha.

Las aleaciones de cobre tienen una conductividad eléctrica y térmica muy alta en comparación con las aleaciones convencionales de hierro, níquel y titanio de alto rendimiento. Las aleaciones de cobre convencionales rara vez se usan en aplicaciones exigentes que requieren un alto grado de dureza. Sin embargo, las aleaciones espinodales de cobre-níquel-estaño combinan alta dureza y conductividad tanto en fundición endurecida como en condiciones forjadas.

Además, la conductividad térmica es de tres a cinco veces mayor que la de las aleaciones ferrosas (acero para herramientas) convencionales, lo que aumenta las tasas de eliminación de calor a la vez que fomenta la reducción de la distorsión al disipar el calor de manera más uniforme. Además, las aleaciones de cobre espinodal muestran una maquinabilidad superior a durezas similares.

La aleación de cobre del artículo incluye níquel y estaño. La aleación de cobre contiene del 8 al 20% en peso de níquel y del 5 al 11% en peso de estaño, incluyendo del 13 al 17% en peso de níquel y del 7 al 9% en peso de estaño, siendo el resto cobre. En realizaciones específicas, la aleación incluye aproximadamente un 15% en peso de níquel y aproximadamente un 8% en peso de estaño. En otras realizaciones, la aleación contiene aproximadamente un 9% en peso de níquel y aproximadamente un 6% en peso de estaño.

Las aleaciones espinodales ternarias de cobre-níquel-estaño muestran una combinación beneficiosa de propiedades como alta resistencia, excelentes características tribológicas y alta resistencia a la corrosión en agua de mar y ambientes ácidos. Un aumento en el límite elástico del metal base puede resultar de la descomposición espinodal en las aleaciones de cobre-níquel-estaño.

Los siguientes ejemplos se proporcionan para ilustrar las aleaciones, artículos y procesos de la presente divulgación. Los ejemplos son meramente ilustrativos y no se pretende que limiten la divulgación a los materiales, condiciones o parámetros del proceso expuestos en los mismos.

Ejemplos

La FIG. 3 es un gráfico que describe algunos experimentos comparativos realizados en cilindros de aleación espinodal de Cu-Ni-Sn. Todas las aleaciones espinodales de Cu-Ni-Sn usadas tenían aproximadamente un 8-10% en peso de níquel, un 5-8% en peso de estaño y el resto cobre. Aquí se investigaron los métodos de

enfriamiento.

Como se describe en la parte superior derecha, algunos cilindros se homogeneizaron a 927° C (1700° F) durante tres días, luego se enfriaron con aire a temperatura ambiente, se recalentaron a 732° C (1350° F) durante la noche, se comprimieron y se recalentaron a 954° C (1750° F) durante la noche y se comprimieron. Como se describe en la parte inferior izquierda, algunos cilindros se homogeneizaron a 927° C (1700° F) durante tres días, luego se enfriaron en horno a 732° C (1350° F), se recalentaron a 732° C (1350° F) durante la noche, se comprimieron, se recalentaron a 954° C (1750° F) durante la noche y se comprimieron.

En ambos casos, más de la mitad de los cilindros se agrietaron cuando se comprimieron a 954° C (1750° F). Sin embargo, ambos tipos de enfriamiento produjeron tamaños de grano uniformes entre 40 micrómetros (µm) y 60 µm, como se ve en la parte superior izquierda.

La **FIG. 4** es un gráfico de datos comparativos que muestra un proceso tradicional de realizar un (1) paso de homogeneización a 927° C (1700° F) durante 3 días, (2) un primer recalentamiento a 649° C (1200° F) durante 1 día seguido de trabajo en caliente, y (3) un segundo recalentamiento a 954° C (1750° F) durante 1 día, seguido de un segundo trabajo en caliente. Después de cada paso (1-3), se realizó un WQ (templado con agua). El gráfico incluye imágenes que ilustran la microestructura después de los distintos pasos. Al comparar los resultados de la **FIG. 3** con los de la **FIG. 4**, se observó que la microestructura de la pieza fundida usando enfriamiento con aire después de la homogeneización era similar a la microestructura recién colada.

La **FIG. 5** es un gráfico de datos comparativo que muestra un procedimiento modificado similar al de la **FIG. 4**, pero usando enfriamiento con aire después de cada paso en lugar de templado con agua. Aunque los datos de microestructura después del primer paso de homogeneización (927° C (1700° F)/3 días) son bastante diferentes a los obtenidos en la **FIG. 4**, las microestructuras finales fueron similares.

Como resultado, se descubrieron los procesos de la presente divulgación. La **FIG. 6** es un gráfico de datos que ilustra un proceso para formar aleaciones espinodales con un tamaño de grano uniforme. El material recién colado calentó a 732° C (1350° F) durante aproximadamente 12 horas (la microestructura se muestra en este punto), se trabajó en caliente y luego se enfrió con aire. Se muestran dos microestructuras para el producto enfriado con aire intermedio (mostrado después de la leyenda de enfriamiento con aire en la primera curva). Luego, el material de aleación espinodal se calienta por segunda vez a 927° C (1700° F) durante un período de tiempo (mostrada la microestructura), por ejemplo, por lo menos 16 horas, y luego a 954° C (1750° F) durante 4 horas (mostrada la microestructura) seguido de una segunda reducción por trabajo en caliente y enfriamiento con aire (mostrada la microestructura). Este proceso produjo un tamaño de grano uniforme, similar al tamaño de grano de 40-60 µm mostrado en la **FIG. 3**, sin grietas y sin paso de homogeneización.

Con referencia a la **FIG. 7**, un gráfico de datos muestra un proceso de referencia para formar aleaciones espinodales de tamaño de grano uniforme que no entra dentro del alcance de las reivindicaciones usando un segundo paso caliente a temperatura más baja. La entrada de este proceso es un material de aleación espinodal recién colada. La aleación se calentó a 732° C (1350° F) durante 12 horas (se muestra la microestructura en este punto), se trabajó en caliente y se enfrió con aire (se muestra la microestructura). Luego, el material se calienta de nuevo a 927° C (1700° F) durante 24 horas (se muestra una microestructura no uniforme), luego se enfría en horno a 871° C (1600° F) y se mantiene durante cuatro horas (se muestra la microestructura), se trabaja en caliente (se muestra la microestructura) y luego se enfría con aire (se muestra la microestructura). Esto también produjo una microestructura uniforme sin grietas y sin un paso de homogeneización. La microestructura final indica un tamaño de grano aún más fino.

REIVINDICACIONES

1. Un artículo que tiene un tamaño de grano uniforme, producido mediante un proceso (S100) que consiste esencialmente en, en secuencia:

- 5 calentar una pieza fundida a una primera temperatura de 732° C (1350° F) durante un primer período de tiempo de aproximadamente 12 horas (S104), la pieza fundida estando hecha de una aleación espinodal, en donde la aleación espinodal recién colada es una aleación de cobre-níquel-estaño que comprende del 8 al 20% en peso de níquel y del 5 al 11% en peso de estaño, siendo el resto cobre;
- 10 realizar una primera reducción por trabajo en caliente de la pieza fundida (S104), en donde la primera reducción por trabajo en caliente (S104) reduce el área de la pieza fundida en por lo menos un 30%;
- enfriar con aire la pieza fundida a una primera temperatura ambiente (S106);
- calentar la pieza fundida a una segunda temperatura de 927° C (1700° F) durante un segundo período de tiempo de 16 horas a 48 horas (S108);
- 15 calentar la pieza fundida a una tercera temperatura de 954° C (1750° F) durante un tercer período de tiempo de 4 horas (S110);
- realizar una segunda reducción por trabajo en caliente de la pieza fundida (S112), en donde la segunda reducción por trabajo en caliente (S112) reduce el área de la pieza fundida en por lo menos un 30%; y
- 20 enfriar con aire la pieza fundida a una temperatura ambiente final para producir el artículo con un tamaño de grano uniforme (S114);
- en donde el proceso no incluye un paso de homogeneización; y
- en donde el tamaño de grano es de 40 µm a 60 µm.

25 2. El artículo de la reivindicación 1, en donde la primera temperatura ambiente y la temperatura ambiente final son la temperatura ambiente.

3. El artículo de la reivindicación 1, en donde la aleación de cobre-níquel-estaño comprende del 8 al 10% en peso de níquel y del 5 al 8% en peso de estaño.

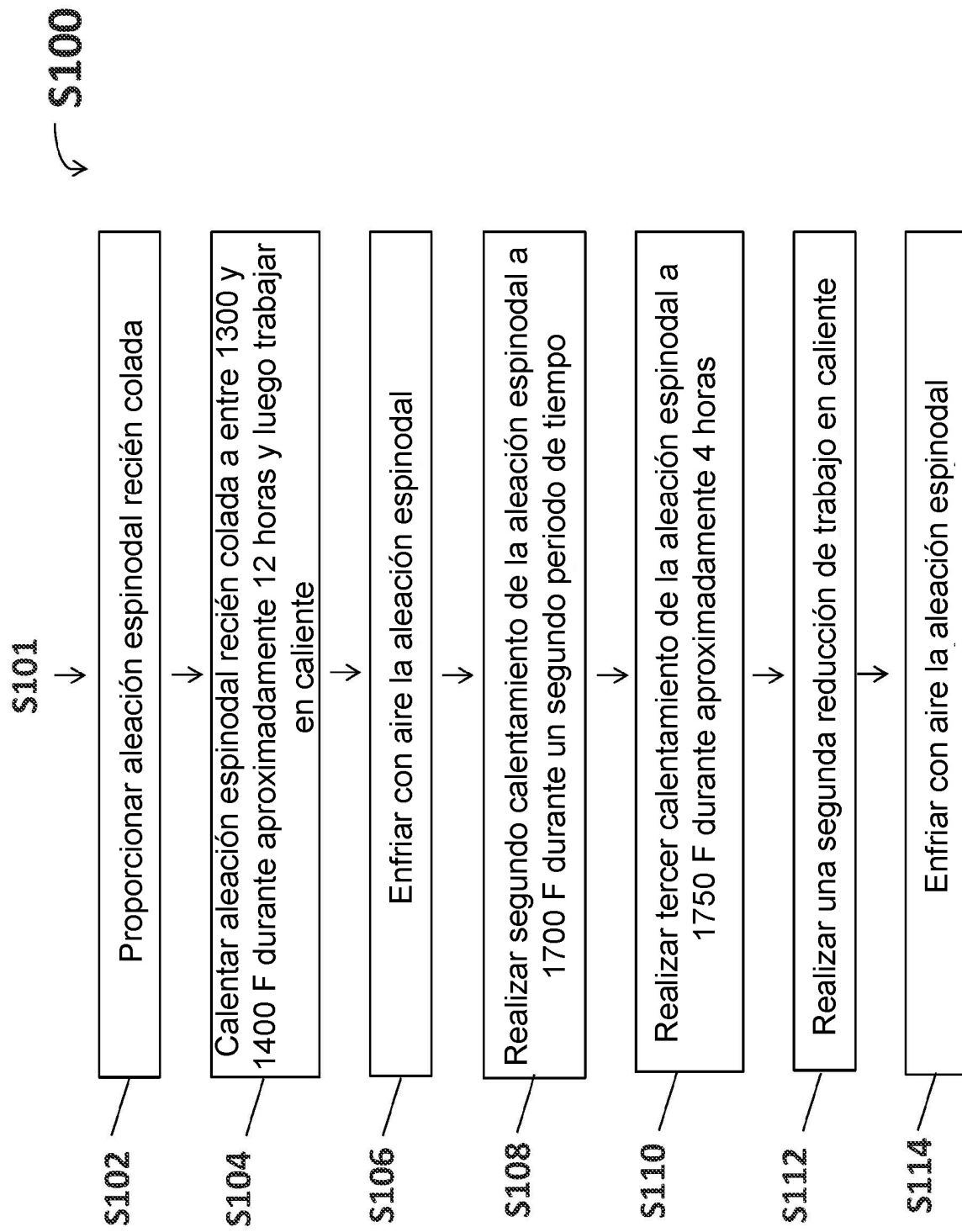


FIG. 1

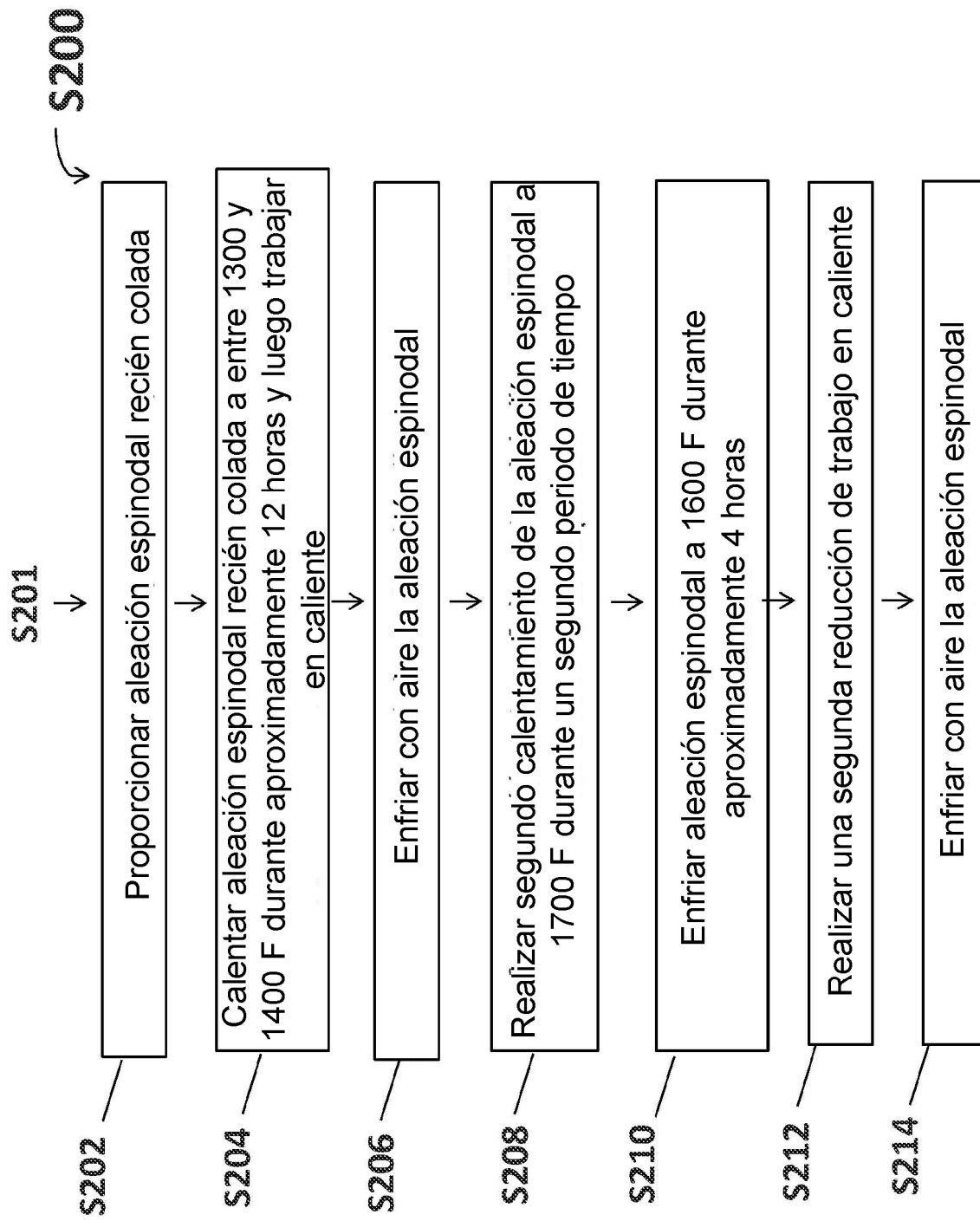


FIG. 2

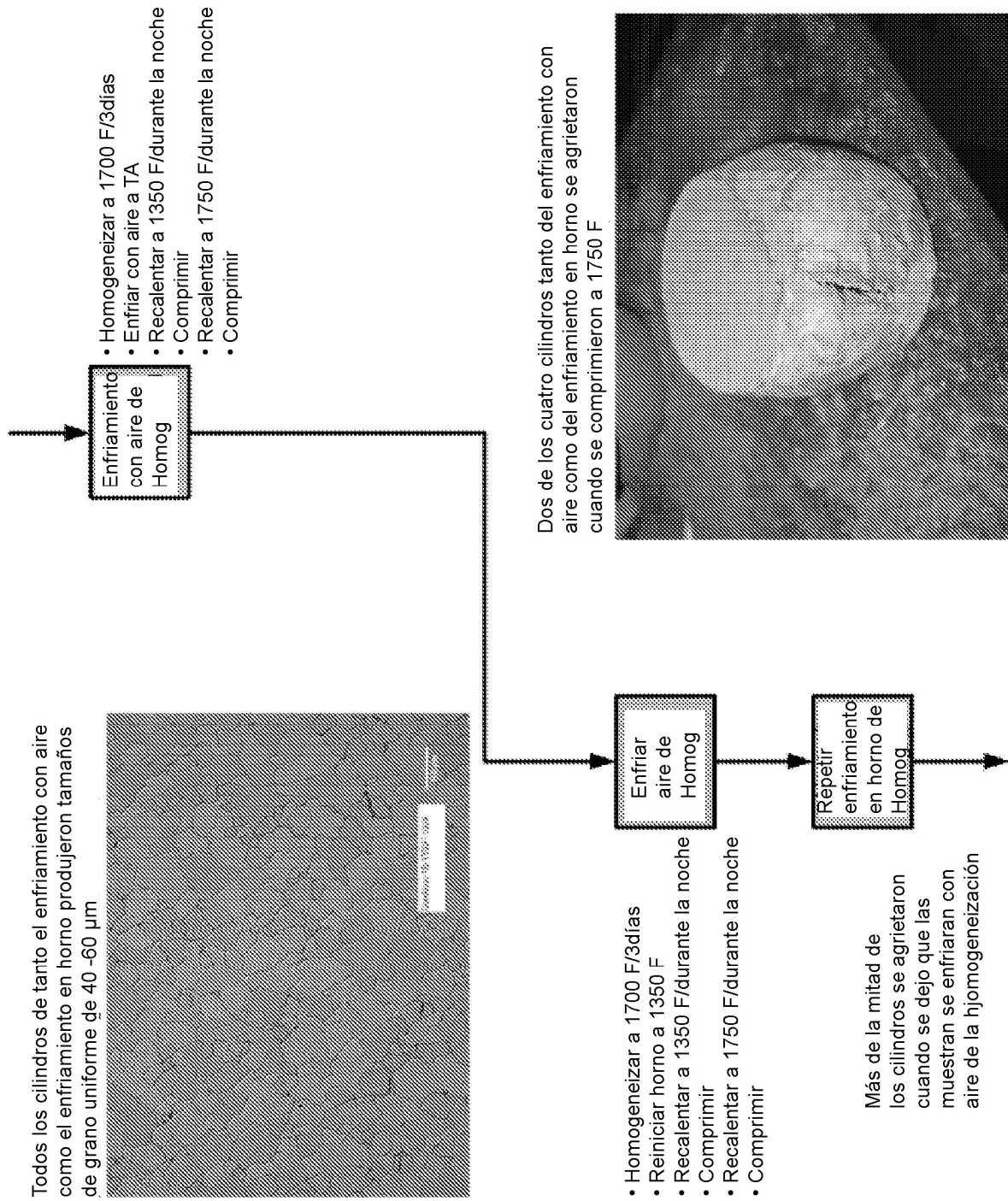


FIG. 3

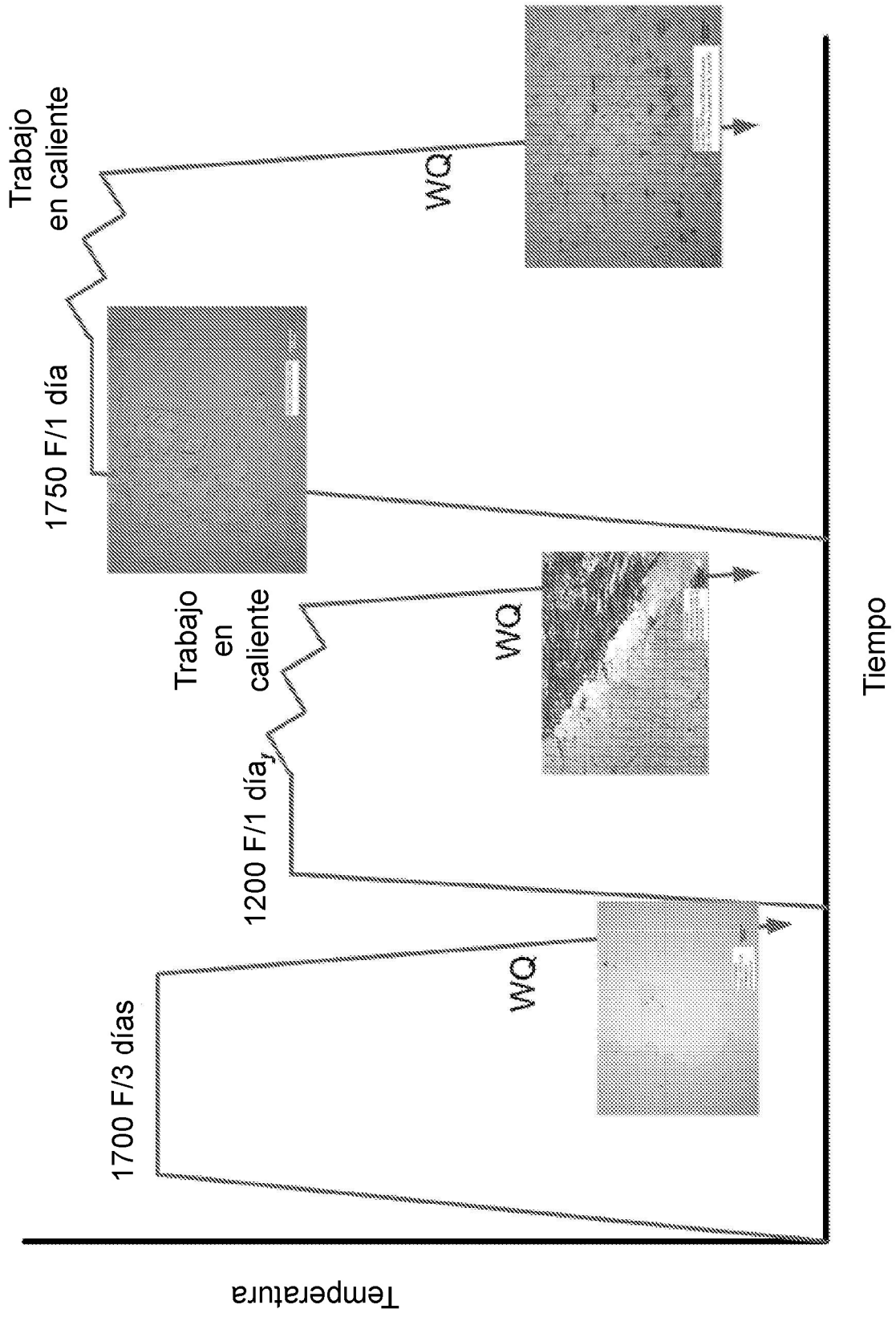


FIG. 4

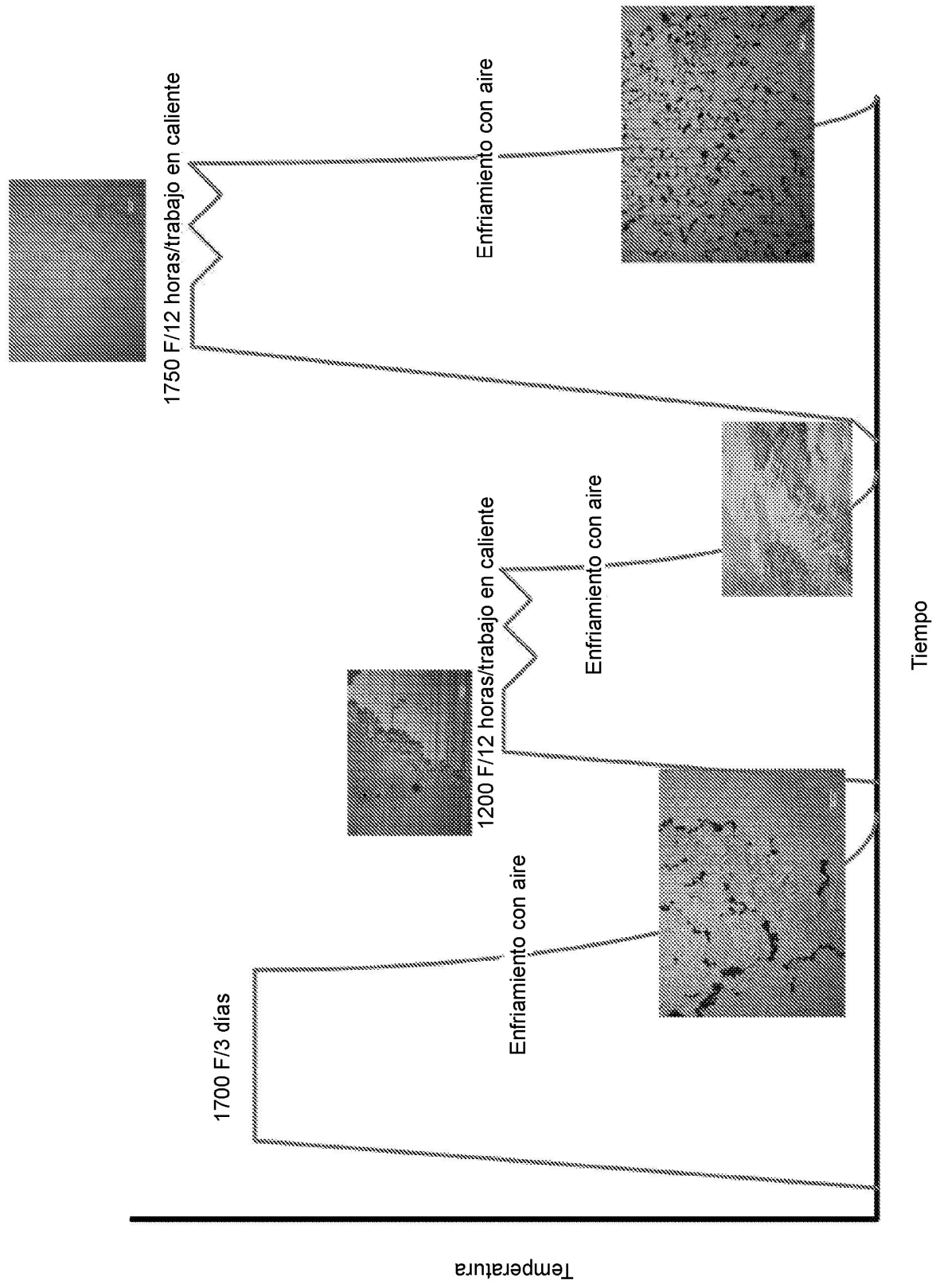


FIG. 5

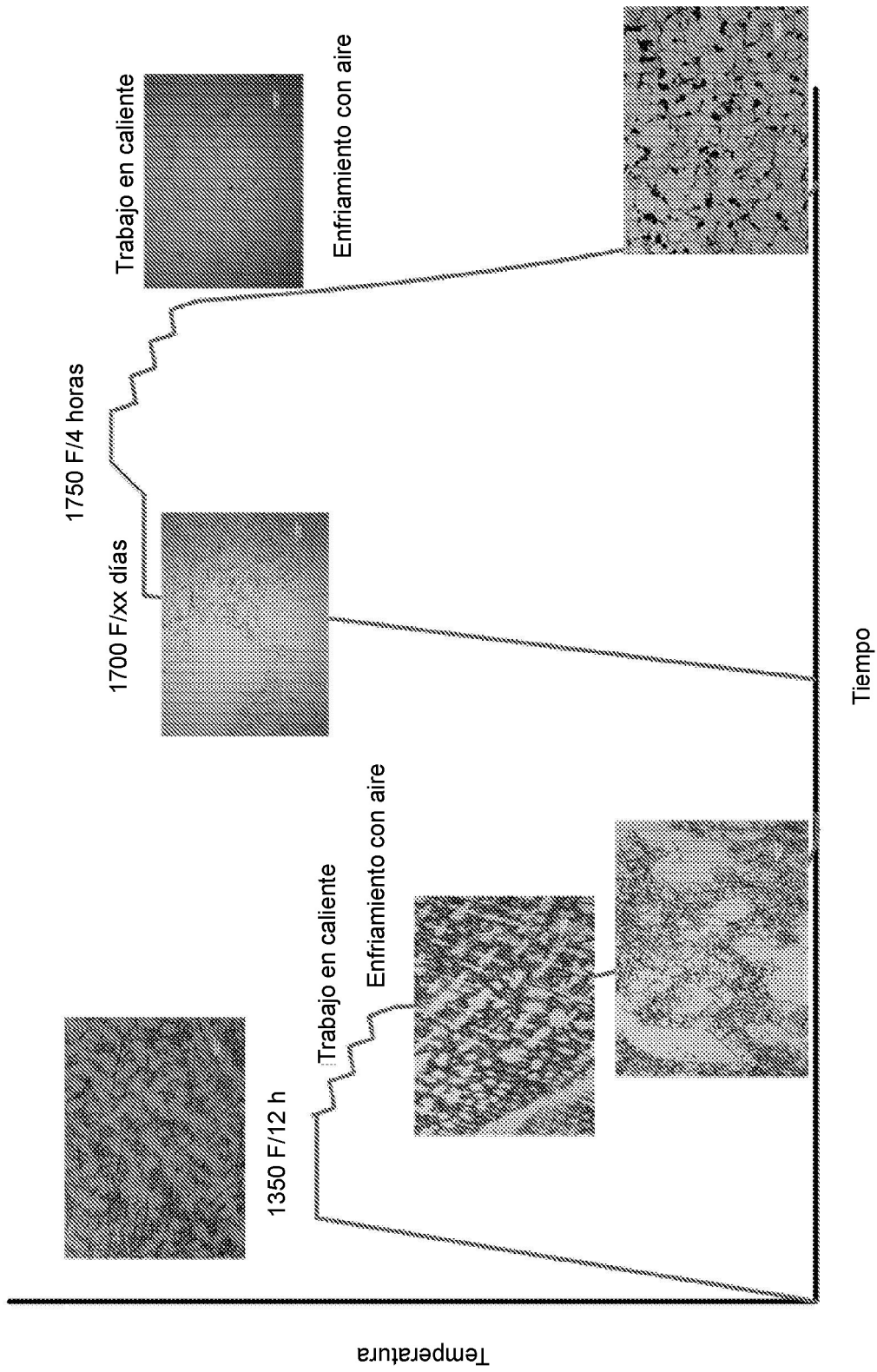
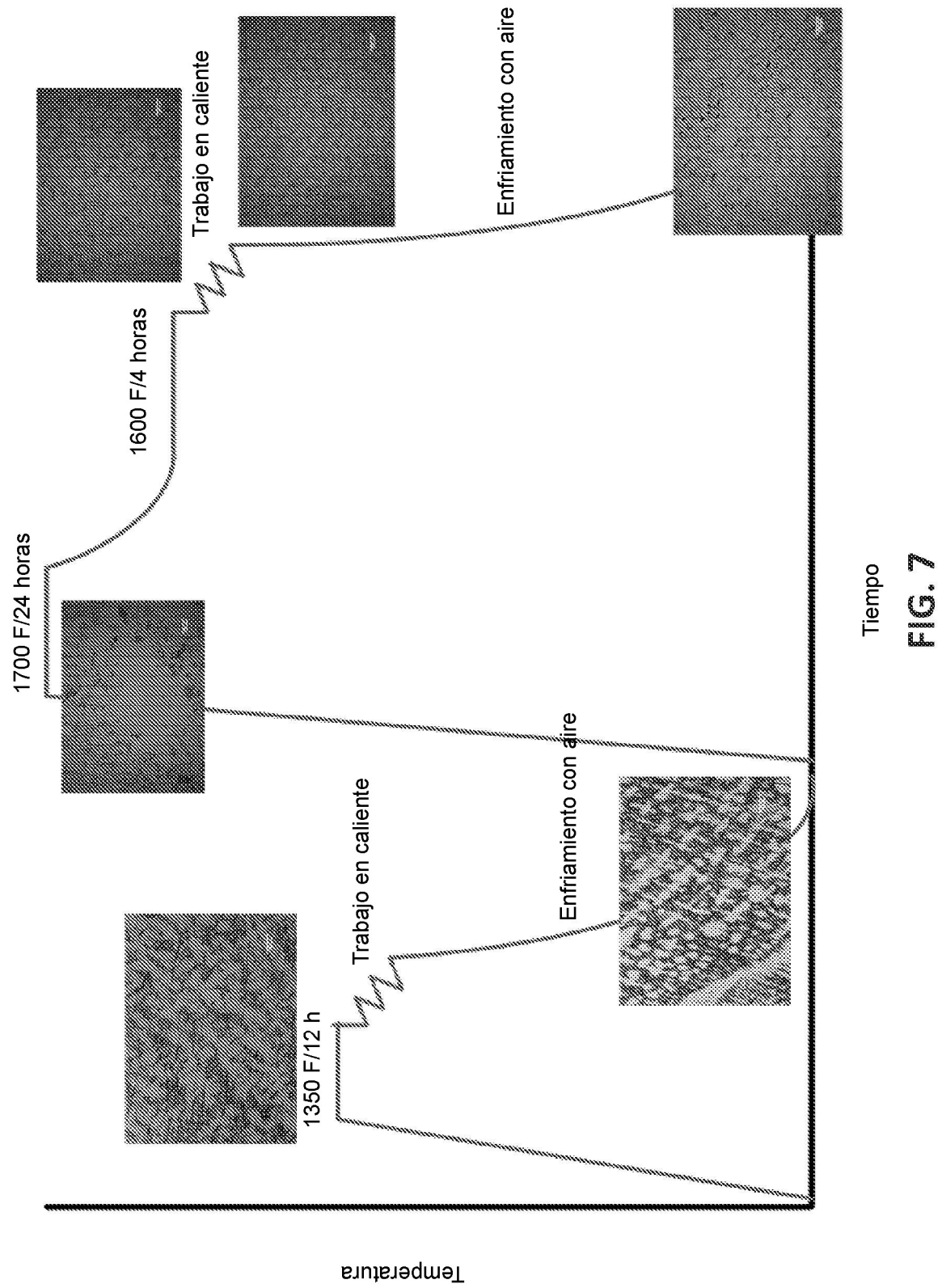


FIG. 6



Tiempo

FIG. 7