

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 633 487**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| B21J 1/06 | (2006.01) |
| B21J 3/00 | (2006.01) |
| B21C 23/32 | (2006.01) |
| C23C 4/04 | (2006.01) |
| C23C 4/10 | (2006.01) |
| C23C 4/18 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **07.03.2014 PCT/US2014/021766**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14149996**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **07.03.2014 E 14712984 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.05.2017 EP 2969298**

54 Título: **Métodos para mejorar la capacidad de trabajo de aleaciones de metal**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201313833144

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

21.09.2017

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FORBES JONES, ROBIN M.;
KENNEDY, RICHARD L. y
CAO, WEI-DI**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 633 487 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 mejorar la capacidad de trabajo de aleaciones de metal

5 **Campo técnico**

La presente divulgación se refiere a lingotes de aleación y a otras piezas de trabajo de aleación, y a métodos para el procesamiento de lingotes de aleación y de otras piezas de trabajo de aleación.

10 **Antecedentes**

15 Diversas aleaciones pueden caracterizarse como siendo "sensibles a grietas". Los lingotes y otras piezas de trabajo compuestas de aleaciones sensibles a grietas pueden formar grietas a lo largo de sus superficies y/o bordes durante las operaciones de trabajo en caliente. La formación de los artículos a partir de aleaciones sensibles a grietas puede ser problemático, ya que, por ejemplo, las grietas formadas durante el forjado u otras operaciones de trabajo en caliente pueden tener que esmerilarse o eliminarse de otro modo, aumentando el tiempo de producción y el gasto, y reduciendo el rendimiento.

20 Durante ciertas operaciones de trabajo en caliente, tales como la forja y extrusión, los troqueles aplican una fuerza a una pieza de trabajo de aleación para deformar la pieza de trabajo de aleación. La interacción entre las superficies de la boquilla y las superficies de la pieza de trabajo de aleación puede implicar transferencia de calor, fricción y desgaste. Una técnica convencional para reducir el agrietamiento en la superficie y en los bordes durante el trabajo en caliente es encerrar la pieza de trabajo de aleación en una lata metálica antes de trabajarse en caliente. Con una pieza de trabajo cilíndrica, por ejemplo, el diámetro interior de la lata metálica puede ser ligeramente mayor que el diámetro exterior de la pieza de trabajo de aleación. La pieza de trabajo de aleación se puede insertar en la lata metálica de tal manera que la lata metálica la rodea holgadamente, pero no se une metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación. Los troqueles pueden ponerse en contacto con las superficies exteriores de la lata metálica. La lata metálica aísla térmicamente y protege mecánicamente la pieza de trabajo de aleación encerrada, eliminando o reduciendo de este modo la incidencia de formación de grietas en la pieza de trabajo de aleación. La lata metálica aísla térmicamente la pieza de trabajo de aleación por la acción de los espacios de aire entre la pieza de trabajo de aleación y las superficies interiores de la lata metálica, y también inhibiendo directamente la radiación de calor de la pieza de trabajo de aleación al medio ambiente.

35 Una operación de enlatado de la pieza de trabajo de aleación puede dar como resultado diversas desventajas. Por ejemplo, el contacto mecánico entre los troqueles de forja y las superficies exteriores de la lata metálica puede romper la lata metálica. También, durante la forja de engrosamiento y trefilado de una pieza de trabajo en lata, la lata metálica puede romperse durante la operación de trefilado, y en tal caso la pieza de trabajo de aleación puede tener que volver enlatarse entre cada ciclo de engrosamiento y trefilado de una operación múltiple de forja de engrosamiento y trefilado. El re-enlatado aumenta la complejidad del proceso y los gastos. Además, una lata metálica puede perjudicar la supervisión visual de la superficie de una pieza de aleación en lata por parte de un operario quien busca grietas y otros defectos inducidos por el trabajo.

45 El documento US4728448, en el que se basa el preámbulo de la reivindicación 1, divulga un material compuesto autolubricante, reductor de fricción y desgaste para su uso en un amplio espectro de temperaturas que va desde la temperatura criogénica hasta aproximadamente 900 °C en un entorno químicamente reactivo que comprende plata, fluoruro de bario/calcio eutéctica fluoruro, y carburo de cromo de metal unido.

50 El documento US3122828 divulga un proceso de conversión de un lingote de aleación sensible al calor que implica laminar el lingote a una temperatura por encima de la temperatura crítica de la aleación, que consiste en envolver el lingote en una cáscara de metal, extrudir en caliente o trefilar el lingote envuelto para comprimir la cáscara en el lingote y reducir el área de sección transversal del lingote, laminar en caliente el artículo y eliminar la cáscara del tocho resultante.

55 Teniendo en cuenta los inconvenientes anteriores, sería ventajoso proporcionar un método más eficaz y/o más rentable de trabajar en caliente aleaciones sensibles a grietas. Más en general, sería ventajoso proporcionar un método para mejorar la capacidad de trabajo en caliente de lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación.

60 **Sumario**

La invención proporciona un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. Los aspectos de acuerdo con la presente divulgación se refieren a los métodos de procesamiento de lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación para mejorar la capacidad de trabajo en caliente.

65

De acuerdo con la presente invención, se proporciona un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico, comprendiendo el método pulverizar un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie de la pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación. El revestimiento superficial metálico es más dúctil que la pieza de trabajo de aleación y reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes del método, la pieza de trabajo de aleación se hace girar alrededor de un eje longitudinal de la pieza de trabajo durante la pulverización del material de revestimiento metálico, que se deposita sobre al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación.

Un aspecto actualmente no reivindicado de acuerdo con la presente divulgación se refiere a un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico, el método comprende insertar la pieza de trabajo de aleación en una lata metálica. La lata metálica puede tener un menor coeficiente de expansión térmica que la aleación e incluir una superficie interior que comprende un revestimiento de níquel-boro sobre al menos una porción de la misma. La pieza de trabajo de aleación se encapsula en la lata metálica para formar un conjunto enlatado, y al menos una porción de gas se elimina desde el interior del conjunto de enlatado. El conjunto enlatado se calienta para unir en fase líquida transitoria la pieza de trabajo de aleación a la lata metálica.

Otro aspecto no limitante de acuerdo con la presente divulgación se refiere a piezas de trabajo de aleación realizadas o procesadas de acuerdo con cualquiera de los métodos de la presente divulgación.

Otro aspecto no limitante más de acuerdo con la presente divulgación se refiere a artículos de fabricación realizados a partir de o que incluyen piezas de trabajo de aleación realizadas o procesadas de acuerdo con cualquiera de los métodos de la presente divulgación. Tales artículos de fabricación incluyen, por ejemplo, componentes de motores a reacción, componentes de turbina con base en tierra, válvulas, componentes de motores, ejes y elementos de fijación.

Descripción de las figuras de los dibujos

Las diversas realizaciones no limitantes descritas en la presente memoria pueden entenderse mejor considerando la siguiente descripción junto con las figuras de los dibujos adjuntos.

La Figura 1 es un diagrama de flujo de acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas de un método divulgado en la presente memoria.

La Figura 2 es un esquema de un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con diversas realizaciones no limitantes divulgadas en la presente memoria.

La Figura 3 es un esquema de un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con diversas realizaciones no limitantes divulgadas en la presente memoria.

La Figura 4 es un diagrama de flujo de acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas de un método divulgado en la presente memoria.

La Figura 5 es un esquema de un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con diversas realizaciones no limitantes divulgadas en la presente memoria.

El lector apreciará los detalles que anteceden, así como otros, al considerar la siguiente descripción de diversas realizaciones no limitantes y no exhaustivas de acuerdo con la presente divulgación.

Descripción de ciertas realizaciones no limitantes

Como generalmente se utiliza en la presente memoria, la expresión "punto de reblandecimiento" se refiere a la temperatura mínima a la que un material particular ya no se comporta como un sólido rígido y comienza a combarse bajo su propio peso.

Durante las operaciones de trabajo en caliente, tales como, por ejemplo, operaciones de forja y operaciones de extrusión, se puede aplicar una fuerza a un lingote de aleación o a otra pieza de trabajo de aleación a una temperatura mayor que la temperatura ambiente, tal como por encima de la temperatura de recristalización de la pieza de trabajo, para deformar plásticamente la pieza de trabajo. La temperatura de una pieza de trabajo de aleación que se somete a la operación de trabajo puede ser mayor que la temperatura de los troqueles u otras estructuras utilizadas para aplicar mecánicamente la fuerza a las superficies de la pieza de trabajo de aleación. La pieza de trabajo de aleación puede formar gradientes de temperatura debido al enfriamiento de su superficie por la pérdida de calor al aire ambiente y el desfase de gradiente térmico entre sus superficies y los troqueles en contacto u otras estructuras. Los gradientes de temperatura pueden contribuir al agrietamiento de la superficie de la pieza de trabajo durante el trabajo en caliente. El agrietamiento de la superficie es especialmente problemático en situaciones en las que se forma la pieza de trabajo de aleación a partir de una aleación sensible a grietas.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede consistir en o comprender una aleación sensible a grietas. Por ejemplo, diversas aleaciones a base de níquel, aleaciones a base de hierro, aleaciones a base de níquel-hierro, aleaciones a base de titanio, aleaciones a base de titanio-níquel, aleaciones a base de cobalto, y superaleaciones, tales como las superaleaciones a base de níquel, pueden ser sensibles a

grietas, especialmente durante operaciones de trabajo en caliente. Un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación se pueden formar a partir de tales aleaciones y superaleaciones sensibles a grietas. Por ejemplo, una pieza de trabajo de aleación sensible a grietas se puede formar a partir de aleaciones o superaleaciones seleccionadas de, pero sin limitarse a, Aleación 718 (UNS n.º N07718), Aleación 720 (UNS n.º N07720), aleación Rene 41™ (UNS n.º N07041), aleación Rene 88™, aleación Waspaloy® (UNS n.º N07001), y aleación Inconel® 100.

Aunque los métodos descritos en la presente memoria son ventajosos para su uso en relación con las aleaciones sensibles a grietas, se entenderá que los métodos también son generalmente aplicables a cualquier aleación, incluyendo, por ejemplo, aleaciones caracterizadas por una ductilidad relativamente baja a temperaturas de trabajo en caliente, aleaciones trabajadas en caliente a temperaturas de 537 °C (1000 °F) a 1204 °C (2200 °F) y aleaciones no generalmente propensas a agrietarse. Como tal, tal como se utiliza aquí, el término "aleación" incluye aleaciones y superaleaciones convencionales. Como se entiende por aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica, las superaleaciones exhiben relativamente buena estabilidad superficial, resistencia a la corrosión y oxidación, alta resistencia, y alta resistencia a la fluencia a altas temperaturas. En diversas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender o seleccionarse a partir de un lingote, un tocho, una barra, una placa, un tubo, una pre-forma sinterizada, y similares.

Un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación se pueden formar utilizando, por ejemplo, técnicas de metalurgia o técnicas de pulvimetalurgia convencionales. Por ejemplo, en diversas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación se puede estar formar por una combinación de fundición por inducción a vacío (VIM) y refundición por arco de vacío (VAR), conocido como una operación de VIM-VAR. En diversas realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo de aleación se puede formar por una técnica de fundición triple, en la que una operación refundición por electroescoria (ESR) se realiza intermedia a una operación de VIM y una operación de VAR, proporcionando una secuencia VIM-ESR-VAR (es decir, triple fundición). En otras realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo de aleación se puede formar utilizando una operación de metalurgia en polvo que implica la atomización de la aleación fundida y la recogida y consolidación del polvo metalúrgico resultante en una pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación se pueden formar utilizando una operación de formación por pulverización. Por ejemplo, VIM se puede utilizar para preparar una composición de aleación basándose en una materia prima. Una operación ESR puede utilizarse opcionalmente después de VIM. La aleación fundida se puede extraer de un baño de fundición VIM o ESR y atomizarse para formar gotitas fundidas. La aleación fundida se puede extraer de un baño de fundición utilizando una guía de inducción pared fría (CIG), por ejemplo. La aleación se puede depositar como material fundido o semifundido utilizando una operación de formación por pulverización para formar una pieza de trabajo de aleación solidificada.

En ciertas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación se pueden formar utilizando prensado isostático en caliente (HIP). HIP se refiere generalmente a la aplicación isostática de alta presión y gas a alta temperatura, tal como, por ejemplo, argón, para compactar y consolidar el material en polvo en una preforma monolítica. El polvo se puede separar de la alta presión y gas a alta temperatura por un recipiente herméticamente cerrado, que funciona como una barrera de presión entre el gas y el polvo que se compacta y consolida. El recipiente herméticamente cerrado puede deformarse plásticamente para compactar el polvo, y las temperaturas elevadas pueden sinterizar de manera efectiva las partículas de polvo individuales entre sí para formar una preforma monolítica. Una presión de compactación uniforme se puede aplicar a todo el polvo, y una distribución de densidad homogénea se puede conseguir en la preforma. Por ejemplo, un polvo de aleación de níquel-titanio casi equiatómico se puede cargar en una lata metálica, tal como, por ejemplo, una lata de acero, y desgasificarse para eliminar la humedad adsorbida y el gas atrapado. El recipiente que contiene el polvo de aleación de níquel-titanio casi equiatómico se puede sellar herméticamente al vacío, tal como, por ejemplo, por soldadura. El recipiente sellado puede después aplicar un HIP a una temperatura y bajo una presión suficiente para lograr la plena densificación del polvo de aleación de níquel-titanio en el recipiente, formando de este modo una preforma de aleación de níquel-titanio casi equiatómica completamente densificada.

En ciertas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, se hace referencia a la Figura 1, un método de procesar una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede, por lo general, comprender 10 hacer girar la pieza de trabajo de aleación sobre un eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación; y 15 pulverizar un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación lo que reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede ser una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica, y el revestimiento metálico se puede depositar sobre, por ejemplo, una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación. Sin embargo, se entenderá que la pieza de trabajo de aleación puede tener una forma diferente. Además, aunque la Figura 1 representa esquemáticamente una realización en la que la pieza de trabajo de aleación se hace girar alrededor de un eje, se entenderá que se puede emplear cualquier método alternativo en el que el dispositivo de pulverización se traslada en relación con la pieza de trabajo de aleación, o viceversa, de modo que el material de revestimiento metálico se puede distribuir sobre y depositarse sobre una superficie de la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, el método de acuerdo con la divulgación prestablecida puede comprender pulverizar un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de un extremo longitudinal de una pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial metálico unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación lo que reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el método puede comprender mover la pieza de trabajo de aleación a lo largo del eje longitudinal de la pieza de trabajo después de completar al menos un giro de la pieza de trabajo de aleación; pulverizar el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción posterior de la superficie circunferencial exterior de la pieza de trabajo de aleación; y repetir el movimiento y la pulverización hasta que se alcanza un espesor de revestimiento deseado. Una vez más, sin embargo, se entenderá que cualquier operación alternativa se puede utilizar para conseguir el movimiento relativo entre el dispositivo de pulverización y la pieza de trabajo de aleación, de modo que el material de revestimiento metálico se puede distribuir y depositarse sobre una superficie de la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, el material del revestimiento metálico puede ser más dúctil y/o maleable que la pieza de trabajo de aleación. En diversas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico formado sobre la pieza de trabajo de aleación puede ser dúctil en un amplio rango de temperaturas, tal como, por ejemplo, de 20 °C a 1260 °C (68 °F a 2300 °F) y de 815 °C a 1232 °C (1500 °F a 2250 °F). La ductilidad del revestimiento metálico y de la pieza de trabajo de aleación se puede medir como el alargamiento o reducción del área en un ensayo de tracción. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender un alargamiento (% en 5 cm/2 pulgadas a temperatura ambiente) mayor que el alargamiento de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender un alargamiento (% en 5 cm/2 pulgadas a temperatura ambiente) de al menos 15 %, al menos 20 %, al menos 30 %, al menos 40 %, superior al 20 %, superior al 25 %, superior al 30 %, superior al 35 %, superior al 40 %, superior al 45 %, del 15 % al 45 %, del 20 % al 40 %, o del 25 % al 40 %. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender un alargamiento (% en 5 cm/2 pulgadas a temperatura ambiente) de hasta el 15 %, hasta el 20 %, o de hasta el 30 %.

En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico puede comprender un material metálico que tiene una mayor dureza y/o menor dureza que la pieza de trabajo de aleación de aleación a la temperatura de trabajo particular que se va a utilizar cuando se trabaja la pieza de trabajo de aleación. La dureza se puede medir según la prueba Rockwell. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una dureza Rockwell inferior a la dureza Rockwell de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una dureza Rockwell B de 88 a 95, y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una dureza Rockwell B de 92 a 100. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una dureza Rockwell B de 82 a 88, y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una dureza Rockwell B de 92 a 100. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una dureza Rockwell B de 88, y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una dureza Rockwell B de 92. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una dureza Rockwell C de 25, y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una dureza Rockwell C de 38. La dureza del revestimiento metálico y de la pieza de trabajo de aleación se puede medir por el ensayo de impacto Charpy con muesca en V en materiales recocidos a temperatura ambiente. En ciertas realizaciones no limitantes, el material del revestimiento metálico puede comprender una energía de impacto Charpy con muesca en V superior a la energía de impacto Charpy con muesca en V de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede comprender una energía de impacto Charpy con muesca en V de 88 a 108 Joule (65 a 80 ft-lb) a 23 °C (75 °F).

En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento metálico puede aislar térmicamente la superficie de la pieza de trabajo de aleación de las superficies de los troqueles de contacto. En tal caso, el revestimiento metálico inhibe o limita la pieza de trabajo de aleación subyacente de irradiar calor al medio ambiente y/o a las superficies de forja o boquillas de extrusión en contacto con la pieza de trabajo revestida. El efecto de aislamiento térmico del revestimiento metálico puede evitar o inhibir que la superficie de la pieza de trabajo de aleación subyacente se enfríe a una temperatura frágil a la que la superficie puede agrietarse más fácilmente durante el trabajo en caliente. En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico puede ser más resistente al oxígeno que la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico puede comprender partículas metálicas, que se pulverizan sobre la superficie de la pieza. Las partículas metálicas pueden ser, por ejemplo, una o más de partículas de acero inoxidable, partículas de aleación de base de níquel, partículas de aleación de base de hierro, partículas de aleación de base de níquel-hierro, partículas de aleación de base de titanio, y partículas de aleación de base de cobalto. En ciertas realizaciones no limitantes, las partículas metálicas se pueden seleccionar a partir de partículas de acero inoxidable y partículas de aleación de base de níquel. En ciertas realizaciones no limitantes, las partículas de acero inoxidable pueden comprender partículas de acero inoxidable austenítico. En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico puede comprender partículas de acero inoxidable austenítico seleccionadas del grupo que consiste en partículas de acero inoxidable de Tipo 304 (UNS nº. S30400), partículas de acero inoxidable de Tipo 304L (UNS nº. S30403), partículas de acero inoxidable de Tipo 316 (UNS nº. S31600), y partículas de acero inoxidable de Tipo 316L (UNS nº. S31603). En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico puede comprender partículas de aleación de base de níquel que pueden

seleccionase del grupo que consiste en partículas de aleación 600 (UNS N06600) y partículas de aleación 625 (UNS N06625).

5 En ciertas realizaciones no limitantes, el material de revestimiento metálico y la pieza de trabajo de aleación pueden comprender un metal de base seleccionado del grupo que consiste en cobalto, hierro y níquel. En ciertas realizaciones no limitantes, el metal de base del material de revestimiento metálico puede ser el mismo que el metal de base de la pieza de trabajo de aleación. Por ejemplo, el material de revestimiento metálico puede comprender una aleación de base de níquel seleccionada de la aleación 600 (UNS n°. N06600) y la aleación 625 (UNS n°. N06625), y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una aleación de base de níquel seleccionada de la aleación 720 (UNS n°. N07720), aleación Rene 88™, y aleación Waspaloy® (UNS n°. N07001). En ciertas realizaciones no limitantes, el metal de base del material de revestimiento metálico y el metal de base de la pieza de trabajo de aleación pueden ser diferentes. Por ejemplo, el material de revestimiento metálico puede comprender una aleación de base de hierro seleccionada de acero inoxidable de Tipo 304 (UNS S30400) y acero inoxidable de Tipo 316 (UNS S31600), y la pieza de trabajo de aleación puede comprender una aleación de base de níquel seleccionada de Aleación 720 (UNS n°. N07720), aleación Rene 88™, y aleación Waspaloy® (UNS n°. N07001).

20 En ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesar una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, por lo general, la pulverización térmica del material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial metálico metalúrgicamente unido a la pieza de trabajo de aleación, en el que el revestimiento superficial metálico reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica. Como se entiende por aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica, la pulverización térmica puede comprender pulverizar un material de revestimiento metálico sobre una superficie mientras que el material de revestimiento metálico está a una temperatura superior a o igual al punto de fundición del material de revestimiento metálico de manera que el material de revestimiento metálico pulverizado comprende partículas metálicas semi-fundidas y/o gotitas metálicas fundidas. Las técnicas de pulverización térmica convencionales incluyen, por ejemplo, técnicas de pulverización térmica por plasma, combustible y oxígeno a alta velocidad (HVOF), por arco, y llama de gas. Cualquiera de las varias técnicas de pulverización térmica convencionales se puede adaptar de forma adecuada para su uso en los métodos de acuerdo con la presente divulgación, sin un esfuerzo excesivo.

35 En ciertas realizaciones no limitantes, antes de la pulverización térmica de un material de revestimiento metálico que comprende partículas metálicas semi-fundidas y/o gotitas metálicas fundidas sobre una superficie de la pieza de trabajo de aleación, al menos una porción de la superficie de la pieza de trabajo de aleación se puede calentar hasta al menos 93 °C (1100 °F), tal como, por ejemplo, de 93 °C (1100 °F) a 1093 °C (2000 °F). Por ejemplo, al menos una porción de una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica se puede calentar a una temperatura superior a 1093 °C (2000 °F) y, a continuación un material de revestimiento metálico que comprende partículas metálicas semi-fundidas y/o gotitas metálicas fundidas se puede pulverizar por aspersión térmica sobre al menos una porción de la superficie caliente de la pieza de trabajo de aleación.

45 En ciertas realizaciones no limitantes, se hace referencia a la Figura 2, un sistema de pulverización térmica 100 puede comprender, por lo general, un recipiente 105, tal como una artesa de colada, para mantener el material de revestimiento metálico en un estado fundido. El recipiente 105 puede comprender una pared de fondo que tiene una abertura para permitir que el material fundido fluya desde el recipiente 105. El recipiente 105 puede recibir el material fundido desde una cuchara de colada o del horno 107. Una boquilla 110 puede estar adyacente a la pared inferior del recipiente 105 para recibir una corriente de salida del material de revestimiento metálico fundido desde la abertura. Un atomizador 120 puede estar en comunicación con la boquilla 110 para atomizar el material de revestimiento metálico fundido que sale de la boquilla 110. El atomizador 120 puede incidir la corriente de salida del material fundido con una corriente de fluido, tal como un líquido, aire, o un corriente de gas inerte, para romper la corriente de salida en gotitas fundidas formando un cono de pulverización 125. La pulverización que comprende el cono de pulverización 125 puede estar a una temperatura superior al o igual al punto de fundición y/o temperatura de reblandecimiento del material de revestimiento metálico. La pulverización que comprende el cono de pulverización 125 puede incluir material fundido y/o material semi-fundido. Diseños alternativos de los atomizadores 120 y sistemas de pulverización que pueden utilizarse junto con esta y otras realizaciones no limitantes descritas en la presente serán evidentes para los expertos en la técnica tras la consideración de esta descripción de diversas realizaciones de la presente divulgación.

60 Haciendo referencia a la realización no limitativa mostrada en la Figura 2, la pieza de trabajo de aleación 130 se puede mover y girar paralela al eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación 130 a través de una junta giratoria 140 en una cámara de pulverización 150. Una bobina de calentamiento por inducción o resistencia 160 se puede situar alrededor del perímetro de la pieza de trabajo 130 para permitir el calentamiento de una superficie de la pieza de trabajo 130 y/o el cono de pulverización 125. En ciertas realizaciones no limitantes, la bobina de calentamiento 160 puede calentar la superficie de la pieza de trabajo a 1010 °C (1850 °F). Un revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente 135 se puede formar en al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica 130 haciendo incidir el cono de pulverización 125 en la pieza de

trabajo de aleación 130 y girando la pieza de trabajo de aleación 130. La pieza de trabajo de aleación 130 se puede hacer pasar por debajo y a través del cono de pulverización 125. Aunque la Figura 1 representa esquemáticamente una realización en la que la pieza de trabajo de aleación se hace girar alrededor de un eje, se entenderá que se puede emplear cualquier método alternativo en la que el dispositivo de pulverización se traslada en relación con la pieza de trabajo de aleación, o viceversa, de modo que el material de revestimiento metálico se puede distribuir y depositarse sobre una superficie de la pieza de trabajo de aleación.

Opcionalmente, la pieza de trabajo de aleación 130 puede comunicarse con uno o más rodillos (no mostrados) antes de salir de la cámara de pulverización 150 y/o después de salir de la cámara de pulverización 150. Después de la pulverización térmica, y, opcionalmente, la laminación, la pieza de trabajo de aleación se puede retirar de la cámara de pulverización 150. Cualquier exceso de pulverización del material de revestimiento fundido puede solidificarse como un polvo que se recoge en una base 155 de la cámara y se recicla.

En ciertas realizaciones no limitantes, un procedimiento de acuerdo con la presente divulgación puede comprender, después de la pulverización térmica, laminar la pieza de trabajo de aleación para consolidar o densificar el revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que las partículas metálicas semi-fundidas y/o gotitas metálicas fundidas pueden oxidarse durante la formación y cuando vuelan y forman los poros. El revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente resultante puede comprender una porosidad abierta que puede interferir con el trabajo en caliente posterior de la pieza de trabajo de aleación revestida. En ciertas realizaciones no limitantes, el presente método puede comprender, después de la pulverización térmica, laminar la pieza de trabajo de aleación en la cámara de pulverización para eliminar o reducir la porosidad abierta en el revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente. En ciertas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después de la pulverización térmica, volver a calentar la pieza de trabajo de aleación revestida y laminar la pieza de trabajo de aleación para eliminar o reducir la porosidad abierta en el revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente. En ciertas realizaciones no limitantes, y sin limitación, el proceso de laminación puede utilizar hasta 17 desbastadores, tales como, por ejemplo, 2-8 desbastadores, y material de proceso a velocidades de hasta 100 toneladas/hora. En ciertas otras realizaciones no limitantes, el método de acuerdo con la presente divulgación puede comprender consolidar o densificar el revestimiento superficial metálico mediante el prensado isostático en caliente de la pieza de trabajo revestida para eliminar o reducir la porosidad abierta en el revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente.

En ciertas realizaciones no limitantes, las características del revestimiento superficial pulverizado térmicamente pueden relacionarse con las condiciones de procesamiento, incluyendo, pero sin limitarse a la temperatura, presión, separación (distancia entre la boquilla de pulverización y la superficie diana de la aleación pieza de trabajo), velocidad de pulverización, y el rendimiento de la deposición. En ciertas realizaciones no limitantes, la presión de la pulverización de material de revestimiento metálico generada por el dispositivo de pulverización térmica puede ser de 1 MPa, hasta 1 MPa, menos de 1 MPa, de 0,5 a 1 MPa, o de 0,7 a 1 MPa. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de la pulverización de material de revestimiento metálico generado por el dispositivo de pulverización térmica puede ser de 537 °C a 1482 °C (1000 °F a 2700 °F), de 815 °C a 1371 °C (1500 °F a 2500 °F), o de 1232 °C a 1482 °C (2250 °F a 2700 °F). En ciertas realizaciones no limitantes, la velocidad de pulverización del material de revestimiento metálico generada por el dispositivo de pulverización térmica puede ser de 0,45 kg/min a 45 kg/min (1 lb/min a 100 libras/min), de 13 kg/min a 45 kg/min (30 lb/min a 100 lb/min), de 11 kg/min a 34 kg/min (25 lb/min a 75 lb/min), o de 22 kg/min (50 lb/min). En ciertas realizaciones no limitantes, la distancia de separación entre el dispositivo de pulverización térmica y la superficie diana de la pieza de trabajo de aleación puede ser de 2,5 cm a 1,80 m (1 pulgada a 72 pulgadas), de 30,5 cm a 1,80 m (12 pulgadas a 72 pulgadas), de 70 cm a 91 cm (24 pulgadas a 36 pulgadas), de 91 cm a 1,80 m (36 pulgadas a 72 pulgadas) o de 91 cm (36 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, el rendimiento de deposición del proceso de pulverización térmica puede ser de hasta 95 %, hasta 80 %, hasta 75 %, hasta el 70 %, del 10 % al 95 %, del 20 % al 80 %, del 25 % al 75 %, del 30 % al 60 %, o del 50 %. Como se utiliza generalmente en la presente memoria, la expresión "rendimiento de deposición" se refiere al porcentaje de material de revestimiento metálico pulverizado térmicamente que se adhiere a la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, el espesor de un revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente sobre una pieza de trabajo de aleación puede ser de hasta 5 cm (2 pulgadas), de hasta 2,5 cm (1 pulgada), hasta 1,2 cm (0,5 pulgadas), hasta 6,4 mm (0,25 pulgadas), 6,4 mm a 5 cm (0,25 a 2 pulgadas), 6,4 mm a 2,5 cm (0,5 a 1 pulgada), o de 2,5 a 5 cm (1 a 2 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico pulverizado térmicamente, después del laminado, puede tener un espesor de hasta 5 cm (2 pulgadas), de hasta 2,5 cm (1 pulgada), hasta 1,2 cm (0,5 pulgadas), hasta 6,4 mm (0,25 pulgadas), 6,4 mm a 5 cm (0,25 a 2 pulgadas), de 1,2 a 2,5 cm (0,5 a 1 pulgada), de 2,5 a 5 cm (1 a 2 pulgadas), 6,4 mm a 1,2 cm (0,25 a 0,5 pulgadas), 2,5 mm a 1,2 cm (0,1 a 0,5 pulgadas) o de 2,5 a 6,4 mm (0,1 a 0,25 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, el espesor de una superficie metálica pulverizada térmicamente se puede relacionar con la velocidad de desplazamiento y/o la velocidad de giro de la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesar una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, por lo general, pulverizar en frío el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie de la pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento

superficial metálico unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación, en el que el revestimiento superficial metálico reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede ser una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica, y el revestimiento metálico se puede depositar sobre, por ejemplo, una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación. Sin embargo, se entenderá que la pieza de trabajo de aleación puede tener una forma diferente. Como se entiende por aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica, la pulverización en frío puede comprender pulverizar un material de revestimiento metálico sobre una superficie mientras que el material de revestimiento metálico está a una temperatura por debajo del punto de fundición del material de revestimiento metálico, de modo que el material de revestimiento metálico pulverizado comprende partículas sólidas del material de revestimiento metálico.

En ciertas realizaciones no limitantes, se hace referencia a la Figura 3, un sistema de pulverización en frío 200 puede comprender, por lo general, un recipiente 205 para contener el material de revestimiento metálico particulado sólido. El recipiente 205 puede comprender una pared de fondo que tiene una abertura para permitir que el material sólido en partículas fluya desde el recipiente 200. Una boquilla 210, tal como una boquilla de tipo (Laval) convergente-divergente, puede estar en comunicación con el recipiente 200 para recibir el material sólido en partículas desde la abertura. La boquilla 210 puede acelerar una corriente de fluido, tal como aire, nitrógeno, helio, argón o mezclas de los mismos, a una velocidad supersónica. El material sólido en partículas se puede alimentar desde el recipiente 200 en la corriente de fluido para arrastrarse en el flujo y acelerarse a altas velocidades, formando un cono de pulverización 225. El material particulado sólido se puede alimentar desde el recipiente 200 en la corriente de fluido aguas arriba de la boquilla 210 o en la salida de la boquilla 210. La corriente de fluido se puede calentar a una temperatura menor que el punto de fundición y/o temperatura de reblandecimiento del material particulado sólido. En ciertas realizaciones no limitantes, la corriente de fluido no se puede calentar antes de la entrada a la boquilla 210 cuando el material particulado sólido alcanza una velocidad suficiente para deformarse plásticamente en caso impactar con la pieza de trabajo 205. Las boquillas y dispositivos de pulverización en frío adecuados que se pueden utilizar en junto con esta y otras realizaciones no limitantes descritas en la presente memoria serán evidente para aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica al considerar la presente divulgación de realizaciones de la invención.

Haciendo referencia a la realización no limitativa mostrada en la Figura 3, la pieza de trabajo de aleación 230 se puede mover y girar en paralelo a un eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación 230 a través de una junta giratoria 240 en una cámara de pulverización 250. Un revestimiento superficial pulverizado en frío 235 se puede formar sobre al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación 230 al incidir el cono de pulverización 225 en la pieza de trabajo de aleación 230 y hacer girar la pieza de trabajo de aleación 230. La pieza de trabajo de aleación 230 puede pasar por debajo y a través del cono de pulverización 225. Cualquier exceso de pulverización del material de revestimiento metálico sólido se puede recoger en una base 255 de la cámara y reciclarse. Aunque la Figura 3 representa esquemáticamente una realización en la que la pieza de trabajo de aleación se hace girar alrededor de un eje, se entenderá que se puede emplear cualquier método alternativo en el que el dispositivo de pulverización se traslada en relación con la pieza de trabajo de aleación, o viceversa, de modo que el material de revestimiento metálico se puede distribuir y depositarse sobre una superficie de la pieza de trabajo de aleación.

La pulverización en frío puede llevarse a cabo a temperaturas relativamente bajas, por debajo del punto de fundición del material de revestimiento metálico particulado y de la pieza de trabajo de aleación. Las temperaturas relativamente bajas pueden impedir la oxidación a alta temperatura, evaporación, fundición, recristalización y/o la evolución de gas del material de revestimiento metálico, lo que puede proporcionar una ventaja sobre los métodos de revestimiento de pulverización térmica. En ciertas realizaciones no limitantes, la estructura y propiedades originales del material de revestimiento metálico sólido pueden conservarse cuando se deposita como un revestimiento sobre la pieza de trabajo de aleación, sin transformaciones de fase que de lo contrario podrían asociarse con los procesos de revestimiento a alta temperatura, tales como, por ejemplo, los procesos de pulverización térmica por plasma, HVOF, arco, llama de gas u otros. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que el material de revestimiento pulverizado en frío no puede oxidarse durante el vuelo y puede proporcionar un revestimiento metálico sobre la pieza de trabajo de aleación que tiene una mayor densidad y/o conductividad térmica más baja que diversos revestimientos pulverizados térmicamente.

Los principios, el aparato y la metodología subyacentes de la pulverización en frío se describen generalmente, por ejemplo, en la patente de Estados Unidos nº. 5.302.414. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que un revestimiento superficial de pulverización en frío se puede formar como resultado de la incidencia de partículas en la superficie de la pieza de trabajo. El impacto de las partículas metálicas sólidas en la pieza de trabajo de aleación puede deformar plásticamente las partículas metálicas sólidas. El cizallamiento en la interfaz partícula/partícula y/o en la interfaz partícula/pieza de trabajo puede descomponer las películas de óxido superficiales sobre las partículas y/o la pieza de trabajo de aleación, iniciando de este modo el contacto metal-metal y la formación de fuertes uniones metalúrgicas entre las partículas del revestimiento metálico individuales y entre las partículas del revestimiento metálico y la superficie de la pieza de trabajo de aleación. La unión en los procesos de pulverización en frío puede depender del proceso de deformación de las partículas y, por lo tanto, los materiales duros, frágiles pueden no ser propicios para la pulverización en frío debido a su limitada capacidad para deformarse plásticamente.

En ciertas realizaciones no limitantes, las características del revestimiento superficial pulverizado en frío pueden relacionarse con las condiciones de procesamiento, incluyendo, pero sin limitarse a la temperatura, presión, velocidad de desplazamiento de la pieza de trabajo de aleación, separación (distancia entre la boquilla y la superficie de la pieza de trabajo de aleación), la velocidad de pulverización y el rendimiento de deposición. En ciertas realizaciones no limitantes, la presión de la pulverización generada por el dispositivo de pulverización en frío puede ser de 0,5 a 5 MPa, 0,7 a 5 MPa, de 1 a 5 MPa, de 1 a 4 MPa, de 0,3 a 1 MPa, de 0,5 a 1 MPa, o de 0,7 a 1 MPa. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de pulverización generada por el dispositivo de pulverización en frío puede ser de 100 a 1000 °C, de 100 a 600 °C, de 250 a 600 °C, de 300 a 1000 °C, de 400 a 600 °C, de 500 a 1.000 °C, o de 500 a 800 °C. En ciertas realizaciones no limitantes, la velocidad de pulverización del dispositivo de pulverización en frío puede ser de 1 a 200 g/min, de 10 a 100 g/min, o de 0,1 a 1 g/min. En ciertas realizaciones no limitantes, la distancia de separación entre el dispositivo de pulverización en frío y la superficie diana de la pieza de trabajo de aleación puede ser de 2,5 cm a 1,83 m (1 a 72 pulgadas), de 30,5 cm a 1,83 m (12 a 72 pulgadas), de 70 a 91 cm (24 a 36 pulgadas), de 91 cm a 1,83 m (36 a 72 pulgadas) o de 91 cm (36 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, el rendimiento de deposición del proceso de pulverización en frío puede ser de hasta el 95 %, hasta el 80 %, hasta el 75 %, hasta el 70 %, del 10 % al 95 %, del 20 % al 80 %, del 25 % al 75 %, del 30 % al 60 %, o del 50 %.

En ciertas realizaciones no limitantes, el espesor de un revestimiento superficial de pulverización en frío puede ser de hasta 5 cm (2 pulgadas), de hasta 2,5 cm (1 pulgada), hasta 1,2 cm (0,5 pulgadas), hasta 6,4 mm (0,25 pulgadas), de 6,4 mm a 5 cm (0,25 a 2 pulgadas), de 6,4 mm a 2,5 cm (0,5 a 1 pulgada), o de 2,5 a 5 cm (1 a 2 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, el espesor de una superficie metálica pulverizada térmicamente puede relacionarse con la velocidad de desplazamiento y/o la velocidad de giro de la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, después de que un revestimiento superficial se deposita sobre una región de una superficie circunferencial u otra de la pieza de trabajo de aleación, la pieza de trabajo de aleación se puede volver a situar para mover el revestimiento superficial depositado y la región correspondiente de la superficie lejos del cono de pulverización y mover una segunda o subsiguiente región de la superficie hacia el cono de pulverización. Después de que se vuelve a situar la pieza de trabajo de aleación, un revestimiento superficial metálico se puede pulverizar frío inyectado la superficie de la pieza de trabajo de aleación moviendo la pieza de trabajo de aleación en una dirección paralela al eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación en contacto con el cono de pulverización. En otras palabras, el cono de pulverización puede ser estacionario mientras que la pieza de trabajo de aleación se mueve paralela al eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación y una región subsiguiente de la superficie de la pieza de trabajo de aleación pasa por debajo del cono de pulverización.

La re-situación relativa de la pieza de trabajo de aleación y la deposición del revestimiento superficial metálico sobre, por ejemplo, una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica en direcciones paralelas a un eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación pueden repetirse sucesivamente hasta que la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación se cubre sustancialmente con un revestimiento metálico. En ciertas realizaciones no limitantes, los parámetros de pulverización y la situación de la pieza de trabajo de aleación se pueden determinar y/o controlar de forma activa para formar un revestimiento uniforme de la superficie sobre al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación.

El intervalo de temperatura en el que las aleaciones pueden trabarse en caliente puede tener en cuenta la temperatura a la que las grietas se inician en la aleación y la composición y la forma del material de revestimiento metálico depositado por los métodos de acuerdo con la presente divulgación. A una temperatura inicial dada para una operación de trabajo en caliente, algunas aleaciones pueden trabajarse eficazmente en caliente a un intervalo de temperatura superior al de otras aleaciones debido a las diferencias de temperatura a la que las grietas se inician en la aleación. Para aleaciones que tienen un intervalo de temperatura de trabajo en caliente relativamente pequeño (es decir, la diferencia entre la temperatura más baja a la que la aleación puede trabajarse en caliente y la temperatura a la que las grietas se inician), el espesor del revestimiento superficial metálico puede ser relativamente mayor para inhibir o evitar que la pieza de trabajo subyacente se enríe a un intervalo de temperaturas de resquebrajamiento en el que las grietas se inician. Asimismo, para aleaciones que tienen un intervalo de temperaturas de trabajo en caliente relativamente grande, el espesor del revestimiento superficial metálico puede ser relativamente más pequeño para inhibir o evitar que el lingote de aleación subyacente u otra pieza de trabajo de aleación se enfríen a un intervalo de temperaturas frágiles en el que las grietas se inician.

En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico se puede formar en al menos una porción de la superficie de la pieza de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico se puede formar en una porción sustancial de la superficie de la pieza de trabajo. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico se puede formar en una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico se puede formar en una superficie circunferencial de la pieza de trabajo y en al menos una cara lateral o cara de extremo de la pieza de trabajo. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico se puede formar en una superficie circunferencial de la pieza de trabajo y en cada cara lateral o cara de extremo de la pieza de trabajo

El revestimiento superficial metálico dispuesto en una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con los métodos divulgados en la presente memoria se puede depositar hasta un espesor suficiente para aislar térmicamente la superficie de la pieza subyacente de una superficie de un troquel de contacto, inhibir o evitar que la superficie de la pieza subyacente se enfríe de ese modo hasta una temperatura a la que la superficie de la pieza subyacente puede agrietarse más fácilmente durante el trabajo en caliente. De esta manera, mayores temperaturas de trabajo en caliente se pueden correlacionar generalmente con una preferencia de mayores espesores del revestimiento superficial metálico. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento superficial metálico puede tener un espesor adecuado para reducir la pérdida de calor de la pieza de trabajo. Sin pretender estar ligado a ninguna teoría en particular, el revestimiento superficial metálico puede reducir la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación y/o aumentar el deslizamiento de la pieza de trabajo con respecto al troquel u otras superficies de contacto durante el trabajo en caliente. El revestimiento superficial metálico puede actuar como una barrera térmica para la pérdida térmica de la pieza de trabajo a través de convección, conducción, y/o radiación.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, por lo general, el enfriamiento de la pieza de trabajo de aleación que incluye el revestimiento superficial metálico antes de trabajar la pieza de trabajo de aleación. El enfriamiento de la pieza de trabajo de aleación puede comprender enfriar el revestimiento superficial metálico. En ciertas realizaciones no limitantes, el enfriamiento de la pieza de trabajo de aleación puede comprender el enfriamiento con aire de la pieza de trabajo de aleación. En ciertas realizaciones no limitantes, la superficie de la pieza de trabajo de aleación se puede enfriar a temperatura ambiente antes de trabajar la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, se hace referencia a la Figura 4, un método adicional de procesar una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con la presente divulgación para reducir el agrietamiento térmico comprende, por lo general, 40 insertar la pieza de trabajo de aleación en una lata metálica. Al menos una porción de una superficie interior de la lata metálica comprende un revestimiento de níquel-boro. La pieza de trabajo de aleación se encapsula 42 en la lata metálica para formar un conjunto enlatado. Al menos se elimina una porción del gas 44 desde el interior del conjunto enlatado, y el conjunto enlatado se calienta 46 para unir en fase líquida transitoria la pieza de trabajo de aleación a la lata metálica. En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender una cubierta de metal. Por ejemplo, la cubierta de metal puede soldarse o de otro modo fijarse de forma segura a un extremo abierto de la lata metálica para encerrar la pieza de trabajo de aleación en la lata metálica y de este modo formar un conjunto enlatado. En diversas realizaciones no limitantes del método, una salida se puede proporcionar en uno de la lata metálica y cubierta de metal, y el conjunto enlatado se puede sellar y esperar la salida. Se puede extraer gas del interior del conjunto enlatado estableciendo un vacío en la salida.

En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro puede unir metalúrgicamente la pieza de trabajo de aleación a la lata metálica durante el calentamiento del conjunto de enlatado. Por consiguiente, en ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede denominarse o considerarse un revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender una porción metálica generalmente cilíndrica que tiene un extremo abierto y una cubierta de metal que puede soldarse o de otro modo unirse al extremo abierto de la porción metálica y de ese modo encapsular una pieza de trabajo de aleación en su interior. En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un espesor de pared de 6,4 mm a 2,5 cm (0,25 a 1 pulgada), tal como, por ejemplo de 6,4 mm a 1,9 cm (0,25 a 0,75 pulgadas) o superior a 6,4 mm a 1,2 cm (0,25 a 0,5 pulgadas). En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un diámetro interior que es superior al diámetro exterior de la pieza de trabajo de aleación de modo que la pieza de trabajo de aleación puede disponerse en el recipiente. En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un diámetro interior más grande en el extremo abierto de la lata con respecto al diámetro interior en el extremo cerrado. En ciertas realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado puede comprender un espacio libre entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica. En ciertas otras realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado puede carecer de un espacio libre entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación se puede insertar en la lata metálica en contacto con la lata metálica bajo el efecto de la gravedad. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede ponerse en contacto con la lata metálica, incluyendo el revestimiento de níquel-boro en su interior, durante la unión en fase líquida transitoria y/o homogeneización.

En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación y/o una lata metálica pueden ser cónicas. La lata metálica cónica se puede formar por conformación en frío y soldadura de una lámina de metal para adaptarse a la pieza de trabajo de aleación cónica. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación cónica y la lata metálica cónica pueden comprender, cada una, un extremo ancho y un extremo estrecho. En ciertas realizaciones no limitantes, el extremo estrecho puede comprender un extremo inferior y el extremo ancho puede comprender un extremo superior. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación cónica y la lata metálica cónica pueden comprender una concidad de 1:50 a 1:200, de 1:50 a 1:100, 1:200, 1:100, o 1:50. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender una superficie exterior cónica, cilíndrica, y la lata metálica puede comprender una superficie complementaria cónica, cilíndrica interior. En ciertas

realizaciones no limitantes, la geometría complementaria de las superficies cónicas puede proporcionar un estrecho contacto entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica, incluyendo el revestimiento de níquel-boro. En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede ser cónica a lo largo de toda la longitud del eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que la utilización de una pieza de trabajo cónica y una lata metálica cónica que tiene geometrías complementarias puede mejorar el contacto entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica, incluyendo el revestimiento de níquel-boro, con relación a una pieza de trabajo de aleación no cónica y/o una lata metálica no cónica.

En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un material que tiene un menor coeficiente de expansión térmica de la pieza de trabajo de aleación. Por ejemplo, el acero inoxidable austenítico puede tener un coeficiente de dilatación térmica de aproximadamente un 30 % superior al el acero al carbono. En ciertas realizaciones no limitantes, el coeficiente de expansión térmica de la lata metálica puede ser al menos 20 % menos que el coeficiente de expansión térmica de la pieza de trabajo de aleación sobre un amplio intervalo de temperaturas, tal como, por ejemplo, de 20 °C a 1093 °C (68 °F a 2000 °F). Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que la provisión de tal diferencia en las propiedades de expansión térmica entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica puede generar un esfuerzo de compresión para mantener el contacto entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica, incluyendo el revestimiento de níquel-boro, durante el calentamiento del conjunto enlatado y la unión en fase líquida transitoria. En ciertas realizaciones no limitantes, el material de lata metálica puede comprender un coeficiente de expansión térmica de $6,9 \times 10^{-6}$ pulgada/pulgada \cdot °F a 70-200 °F (12,4 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot$ °C a 21-93 °C). En ciertas realizaciones no limitantes, el material de lata metálica puede comprender un coeficiente de expansión térmica de $9,2 \times 10^{-6}$ pulgada/pulgada \cdot °F a 70-200 °F (16,5 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot$ °C a 21-93 °C). En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender un coeficiente de expansión térmica de $6,8 \times 10^{-6}$ pulgada/pulgada \cdot °F a 70-200 °F (12,2 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot$ °C a 21-93 °C).

En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un material seleccionado de una aleación de base de níquel, una aleación de base de hierro, una aleación de base de níquel-hierro, una aleación de base de cobalto, y un acero inoxidable. La lata de aleación de base de hierro puede comprender Aleación 902 (UNS n $^{\circ}$. N09902). En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica puede comprender un acero inoxidable de Tipo 430 (UNS n $^{\circ}$. S43000).

En ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica pueden comprender un metal de base seleccionado del grupo que consiste en cobalto, hierro y níquel. En ciertas realizaciones no limitantes, el metal de base de la lata metálica y el metal de base de la pieza de trabajo de aleación pueden ser diferentes. Por ejemplo, la lata metálica puede comprender una aleación hierro-base seleccionada de la aleación 902 (UNS n $^{\circ}$. N09902) y acero inoxidable de Tipo 430 (UNS n $^{\circ}$. S43000), mientras que la pieza de trabajo de aleación puede comprender una aleación níquel-base seleccionada de la aleación 720 (UNS n $^{\circ}$. N07720), aleación Rene 88 $^{\text{TM}}$, y aleación Waspaloy $^{\text{®}}$ (UNS n $^{\circ}$. N07001).

En ciertas realizaciones no limitantes, el procedimiento puede comprender, antes de insertar la pieza de trabajo de aleación en la lata metálica, depositar un revestimiento de níquel-boro sobre al menos una porción de una superficie interior de la lata metálica. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro se puede aplicar a la superficie interior de la lata metálica mediante recubrimiento por reacción química. Como es conocido por aquellos que tienen habilidad ordinaria en la técnica, el recubrimiento por reacción química puede depositar material sobre una superficie sin el uso de una corriente eléctrica. Por lo general, el recubrimiento por reacción química incluye la reducción catalítica de uno o más iones metálicos en una solución para depositar el metal sobre una superficie sin el uso de energía eléctrica. La fuerza motriz para el proceso de deposición se puede proporcionar por un agente químico reductor en la solución. Varios procesos de metalización sin electricidad adecuados se pueden utilizar para depositar el revestimiento de níquel-boro sobre la superficie interior de la lata metálica, y aquellos que tienen habilidad ordinaria en la materia será capaces de adaptar fácilmente las técnicas de recubrimiento por reacción química convencionales para proporcionar un revestimiento de níquel-boro adecuado sobre una superficie interior de una lata metálica en relación con los presentes métodos.

En ciertas realizaciones no limitantes, depositar un revestimiento de níquel-boro sobre al menos una porción de una superficie interior de una lata metálica puede comprender, por lo general: disponer una solución de recubrimiento que comprende un material de níquel-boro en el interior de una lata metálica; chapar el material de níquel-boro sobre al menos una porción de la superficie interior de la lata metálica; drenar la solución de recubrimiento desde la lata metálica, tal como a través de una salida; enjuagar la lata metálica; y secar la lata metálica, tal como, por ejemplo, calentando la lata metálica. El proceso proporciona una superficie interior de la lata metálica con un revestimiento de níquel-boro. Durante el proceso de revestimiento, la temperatura y el pH de la solución de recubrimiento se pueden supervisar y controlar. En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento se puede mantener a una temperatura constante. En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede inicialmente calentarse para iniciar el proceso de revestimiento catalítico. En ciertas realizaciones no limitantes, el tiempo de recubrimiento se puede seleccionar para producir un revestimiento con un cierto espesor deseado.

En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede comprender un disolvente, un agente reductor, e iones de uno o más metales que van a chaparse sobre la superficie interior de la lata metálica. El

5 disolvente puede comprender agua y/o alcohol, tal como, por ejemplo, metanol y/o etanol. Los iones metálicos pueden proporcionarse utilizando, por ejemplo, una sal de metal que es al menos parcialmente soluble en el disolvente. En ciertas realizaciones no limitantes, la sal de metal puede comprender cloruros de níquel, sulfatos de níquel, formatos, acetatos de níquel de níquel, y/o cualquier otra sal de níquel adecuada que sea soluble en la solución. En ciertas realizaciones no limitantes, la sal puede seleccionarse de manera que los aniones de la sal no interfieran con el proceso de recubrimiento por reacción química o no se producirán las propiedades de revestimiento deseadas. En ciertas realizaciones no limitantes, el agente reductor puede comprender uno o más de N-dimetilamina borano, H-dietilamina borano, y borohidruro de sodio.

10 En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede comprender uno o más aditivos para controlar el pH de la solución, para estabilizar los iones metálicos, para evitar la precipitación de sales de metales, para controlar la concentración de iones de metal libres, y/o para controlar ciertas propiedades físicas del revestimiento. En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede comprender un ácido y/o una base para controlar el pH de la solución. En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede comprender un agente complejante, tal como un ácido, por ejemplo, para controlar la concentración de iones de níquel libre de una solución de recubrimiento.

20 En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento puede comprender lubricantes sólidos y/o partículas duras para producir ciertas propiedades físicas. Por ejemplo, los lubricantes sólidos y/o partículas duras se pueden seleccionar para producir un revestimiento que tiene un determinado coeficiente de fricción o resistencia al desgaste. En ciertas realizaciones no limitantes, el lubricante sólido se puede seleccionar a partir de politetrafluoroetileno, grafito, y sulfuro de molibdeno. En ciertas realizaciones no limitantes, la solución de recubrimiento comprende partículas duras seleccionadas de carburo (por ejemplo, carburo de silicio y/o carburo de cromo), nitruros, boruros, diamante, y/u óxidos. En ciertas realizaciones no limitantes, los lubricantes sólidos y/o partículas duras pueden comprender un polvo suspendido en una solución de recubrimiento. Durante un proceso de deposición, una parte del material suspendido puede incorporarse en el revestimiento resultante, produciendo de este modo las propiedades físicas deseadas. En ciertas realizaciones no limitantes, el lubricante sólido y/o partículas duras pueden comprender individualmente hasta el 20 % en volumen del revestimiento. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro puede tener una dureza y/o resistencia al desgaste que es superior a una dureza o resistencia al desgaste de la pieza de trabajo de aleación.

30 En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro puede comprender níquel y del 1 al 10 por ciento en peso de boro, tal como, por ejemplo, del 2 al 7 por ciento en peso de boro, o del 3 al 5 por ciento en peso de boro. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro puede comprender níquel y del 3 al 5 por ciento en peso de boro. Los revestimientos de níquel-boro pueden también comprender impurezas incidentales. En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro consiste en, o consiste esencialmente en 1 a 10 por ciento en peso de boro, del 2 al 7 por ciento en peso de boro, o del 3 al 5 por ciento en peso de boro, níquel, e impurezas incidentales.

40 En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro puede comprender un espesor de 127 μm a 6,35 mm (0,005 pulgadas a 0,25 pulgadas), tal como, por ejemplo, de 127 μm a 2,54 mm (0,005 pulgadas a 0,1 pulgadas) o de 127 a 254 μm (0,005 pulgadas a 0,01 pulgadas).

45 En ciertas realizaciones no limitantes, antes de depositar el revestimiento de níquel-boro, la lata metálica se puede acondicionar superficialmente, por ejemplo, esmerilando o pelando la superficie interior de la lata metálica. En diversas realizaciones del método no limitantes, la lata metálica se puede lijar y/o pulir. En ciertas realizaciones no limitantes, la lata metálica se puede esmerilar a nivel superficial hasta un acabado # 3 a # 4 para mejorar la unión del revestimiento de níquel-boro a la superficie interior de la lata.

50 En ciertas realizaciones no limitantes, el revestimiento de níquel-boro se puede aplicar a la lata metálica por una de pulverización térmica y pulverización en frío, como se ha descrito anteriormente. En ciertas realizaciones no limitantes que utilizan la pulverización térmica para aplicar un revestimiento de níquel-boro a una pared interior de la lata, el material de revestimiento metálico fundido puede comprender una aleación de níquel-boro. En ciertas realizaciones no limitantes que utilizan la pulverización en frío para aplicar un revestimiento de níquel-boro a una pared interior del bote, las partículas metálicas sólidas del material de revestimiento metálico pueden comprender partículas de aleación de níquel-boro. En ciertas realizaciones no limitantes, la aleación de níquel-boro aplicada por pulverización térmica o pulverización en frío puede comprender una aleación de base de níquel o de acero inoxidable borado que comprende hasta 3 por ciento en peso de boro. En ciertas realizaciones no limitantes, la aleación de níquel-boro aplicada por pulverización térmica o pulverización en frío puede comprender acero inoxidable de Tipo 304B7 (UNS n^o. S30467) que comprende del 1,75 al 2,25 por ciento en peso de boro.

60 En ciertas realizaciones no limitantes, después de formar el revestimiento de níquel-boro sobre al menos una porción de una superficie interior de la lata metálica, pero antes de la inserción de la pieza de trabajo de aleación, la lata metálica se puede calentar. Por ejemplo, en diversas realizaciones, la lata metálica puede exponerse a altas temperaturas, tales como, por ejemplo, de 593 °C a 1371 °C (1100 °F a 2500 °F), para expandir la lata metálica, y la pieza de trabajo de aleación puede insertarse en la lata metálica expandida. La lata metálica puede contraerse

cuando la lata metálica se enfría, de tal manera que el revestimiento de níquel-boro se puede introducir en estrecho contacto con la pieza de trabajo de aleación.

En ciertas realizaciones no limitantes, el presente método puede comprender la eliminación de gas desde el interior del conjunto enlatado mediante la conexión de una salida proporcionada en el recipiente a una bomba de vacío y la aplicación de un vacío para eliminar al menos una porción de gas y/o la humedad desde el interior del conjunto de enlatado. En ciertas realizaciones no limitantes, el vacío puede generar una presión de compresión de aire para mantener el contacto entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica durante la unión en fase líquida transitoria y/u homogeneización. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que el calentamiento del conjunto enlatado puede generar gas en el interior del conjunto enlatado que puede afectar negativamente a la formación de uniones de fase líquida transitoria y/o formación de uniones metalúrgicos. En ciertas realizaciones no limitantes, el método puede comprender simultáneamente aplicar un vacío para eliminar el gas y/o la humedad del interior del conjunto enlatado y calentar el conjunto enlatado a una temperatura de uniones de fase líquida transitoria y/o temperatura de homogeneización.

En ciertas realizaciones no limitantes, calentar el conjunto enlatado para unir en fase líquida transitoria la pieza de trabajo de aleación a la lata metálica puede comprender colocar el conjunto enlatado en un horno o estufa. En ciertas realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado se puede calentar a al menos una de una temperatura de unión en fase líquida transitoria y una temperatura de homogeneización. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de unión en fase líquida transitoria puede ser menor que o igual a la temperatura de homogeneización. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de unión en fase líquida transitoria puede ser igual o superior a una temperatura de fundición del revestimiento de níquel-boro. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de fundición del revestimiento de níquel-boro puede ser menor que o igual a la temperatura de homogeneización. En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de homogeneización puede ser de 1148 °C a 1204 °C (2100 °F a 2200 °F). En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de unión en fase líquida transitoria puede ser de 982 °C a 1093 °C (1800 °F a 2000 °F). En ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de fundición del revestimiento de níquel-boro puede ser de 1010 °C a 1054 °C (1850 °F a 1930 °F).

En ciertas realizaciones no limitantes, la unión en fase líquida transitoria y la homogeneización pueden darse simultáneamente. Por ejemplo, en ciertas realizaciones no limitantes, la temperatura de unión en fase líquida transitoria puede solaparse con la temperatura de homogeneización. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que durante la unión en fase líquida transitoria y/o homogeneización, el revestimiento de níquel-boro se puede fundir y el boro se puede difundir tanto en la pieza de trabajo de aleación como en la lata metálica. A medida que el boro se difunde del revestimiento de níquel-boro, el punto de fundición del revestimiento de níquel-boro puede aumentar. Cuando el revestimiento de níquel-boro se vuelve a solidificar, puede formar una unión metalúrgica que suelda la pieza de trabajo de aleación a la superficie interior de la lata metálica, lo que da como resultado la unión en fase líquida transitoria. En ciertas realizaciones no limitantes, la unión en fase líquida transitoria se puede producir antes de la homogeneización.

En ciertas realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado se puede calentar a una temperatura de unión en fase líquida transitoria durante un primer periodo de tiempo y a una temperatura de homogeneización durante un segundo periodo de tiempo. En ciertas realizaciones no limitantes, el primer periodo de tiempo y segundo periodo de tiempo pueden seleccionarse independientemente de hasta 72 horas, hasta 48 horas, hasta 36 horas, hasta 24 horas, hasta 12 horas, hasta 5 hora, hasta 4 horas, y hasta 2 horas, tales como, por ejemplo, de 24 a 72 horas, de 36 a 48 horas, de 6 a 24 horas, de 1 a 5 horas, de 2 a 4 horas, o de 2 a 3 horas. En ciertas realizaciones no limitantes, el primer periodo de tiempo puede ser de hasta 5 horas, tales como, por ejemplo, hasta 4 horas, hasta 2 horas, de 1 a 5 horas, de 2 a 4 horas, o de 2 a 3 horas. En ciertas realizaciones no limitantes, el segundo periodo de tiempo puede ser de hasta 72 horas, tales como, por ejemplo, hasta 48 horas, hasta 36 horas, hasta 24 horas, hasta 12 horas, de 24 a 72 horas, 36 a 48 horas, o de 6 a 24 horas. En ciertas realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado se puede calentar a una temperatura de 1010 °C a 1054 °C (1850 °F a 1930 °F) durante un máximo de dos horas para fundir el revestimiento de níquel-boro y dar como resultado la unión en fase líquida transitoria entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica, antes de calentar el conjunto enlatado a una temperatura de homogeneización de 1.148 °C a 1.204 °C (2100 °F a 2200 °F) durante 36 a 72 horas.

En ciertas realizaciones no limitantes, el conjunto enlatado se puede calentar para producir unión en fase líquida transitoria entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica mediante la aplicación de un primer gradiente de temperatura y, a continuación, calentar para homogeneizar la pieza de trabajo de aleación mediante la aplicación de un segundo gradiente de temperatura. En ciertas realizaciones no limitantes, el primer gradiente de temperatura puede ser al menos 0,27 °C/min (0,50 °F/min), tal como, por ejemplo, al menos 0,41 °C/min (0,75 °F/min), al menos 0,55 °C/min (1 °F/min), al menos 1,11 °C/min (2 °F/min), hasta 1,6 °C/min (3 °F/min), hasta 1,11 °C/min (2 °F/min), hasta 0,83 °C/min (1,5 °F/min), hasta 0,55 °C/min (1 °F/min), de 0,27 a 1,11°C/min (0,5 a 2 °F/min), o de 0,33 a 0,97 °C/min (0,6 a 1,75 °F/min). En ciertas realizaciones no limitantes, el primer gradiente de temperatura puede ser a una velocidad suficiente para aumentar la temperatura de 1.010 °C a 1.054 °C (1.850 °F a 1.930 °C) durante un tiempo de hasta dos horas. En ciertas realizaciones no limitantes, el primer gradiente de temperatura puede ser al menos 0,05 °C/min (0,10 °F/min), tal como, por ejemplo, al menos 0,11 °C/min (0,2 °F/min), al menos 0,27 °C/min (0,5 °F/min), al menos 0,41 °C/min (0,75 °F/min), hasta 0,55 °C/min (1 °F/min), hasta 0,50 °C/min (0,9 °F/min), hasta

0,41 °C/min (0,75 °F/min), de 0,05 a 0,50 °C/min (0,1 a 0,9 °F/min), o de 0,11 a 0,27 °C/min (0,2 a 0,5 °F/min). En ciertas realizaciones no limitantes, el segundo gradiente de temperatura puede ser a una velocidad suficiente para aumentar la temperatura de 1.149 °C a 1.204 °C (2100 °F a 2200 °F) durante 36 a 48 horas. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que ralentizar el gradiente de temperatura cerca del punto de fundición del revestimiento de níquel-boro y/o mantener en el punto fundición del revestimiento de níquel-boro puede reducir o evitar la migración de largo alcance del revestimiento de níquel-boro fundido y proporcionar una unión metalúrgica más fuerte entre la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica. En ciertas realizaciones no limitantes, el calentamiento se puede ralentizar de 1010 °C a 1054 °C (1850 °F a 1930 °F) y mantenerse durante 1 a 2 horas de 1037 °C a 1054 °C (1900 °F a 1930 °F).

En contraste con el método de enlatado descrito en la presente memoria, una técnica de enlatado convencional puede caracterizarse por una menor eficacia de protección debido a que la lata de metal no se une metalúrgicamente a la pieza de trabajo. Sin desear estar ligado a ninguna teoría particular, se cree que una unión en fase líquida transitoria entre la lata metálica y la pieza de trabajo de aleación puede sobrevivir el trabajo en caliente pesado para proteger eficazmente la pieza de trabajo del agrietamiento superficial debido a los efectos de enfriamiento de los troqueles, y con ello mejorar la realización del forjado. Por ejemplo, los presentes inventores han observado que una unión en fase líquida transitoria producida de acuerdo con el presente método ha sobrevivido condiciones de laminación muy difíciles. El revestimiento superficial de níquel-boro puede unir metalúrgicamente la superficie de la pieza de trabajo de aleación y la lata metálica se puede mantener en la superficie de la pieza de trabajo de aleación hasta y durante el trabajo en caliente. La lata metálica unida a la pieza de trabajo de aleación puede reducir la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación y eliminar o reducir la incidencia del agrietamiento superficial durante la forja, extrusión, u otro trabajo de la pieza de trabajo de aleación en relación con otra pieza de trabajo de aleación idéntica que carece de tal lata unida. La lata metálica puede permanecer metalúrgicamente unida a la pieza de trabajo de aleación después del forjado giratorio para producir productos de barra y tochos forjados y/o después de la laminación para producir productos de barra y bobinas.

En ciertas realizaciones no limitantes, con referencia a la Figura 5, un método de procesar una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender por lo general: proporcionar 50 un lingote; esmerilar 52 el lingote para formar un lingote cónico; proporcionar 54 una lata metálica cónica; depositar 56 un revestimiento de níquel-boro mediante uno de recubrimiento por reacción química, formación por pulverización, o pulverización en frío sobre al menos una porción de una superficie interior de la lata metálica; enjuagar 58 y secar 60 la superficie interior de la lata metálica; insertar 62 la pieza de trabajo de aleación en la lata metálica; encapsular 64 la pieza de trabajo de aleación en la lata metálica para formar un conjunto en lata; eliminar 66 al menos una porción de gas y/o la humedad del interior del conjunto enlatado bajo vacío; calentar 68 el conjunto enlatado al vacío para unir en fase líquida transitoria la pieza de trabajo de aleación a la superficie interior de la lata metálica para formar 70 una pieza de trabajo de aleación enlatada.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo de aleación revestida o una pieza de trabajo de aleación enlatada producida por una realización de los métodos descritos en la presente memoria se puede trabajar en caliente. El trabajo en caliente la pieza de trabajo de aleación revestida o enlatada puede comprender aplicar una fuerza a la pieza de trabajo revestida o enlatada para deformar la pieza de trabajo. La fuerza puede aplicarse con, por ejemplo, troqueles y/o rodillos. En ciertas realizaciones no limitantes, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación revestida o enlatada puede comprender trabajar en caliente la pieza de trabajo a una temperatura de 815 °C a 1371 °C (1500 °F a 2500 °F). En ciertas realizaciones no limitantes, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación revestida o enlatada puede comprender una operación de forja y/o una operación de extrusión. Por ejemplo, una pieza de trabajo tiene un revestimiento superficial metálico depositado sobre al menos una región de una superficie de la pieza de trabajo de acuerdo con los métodos descritos en la presente memoria, o una pieza de trabajo de aleación que ha sido enlatada como se ha divulgado aquí, se puede forjar engrosándose y/o forjar trefilándose. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después de formar un revestimiento superficial metálico en la pieza de trabajo, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo revestida por forja. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después de formar un revestimiento superficial metálico en la pieza de trabajo, trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación revestida por forja a una temperatura de 815 °C a 1371 °C (1500 °F a 2500 °F). En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después de formar un revestimiento superficial sobre la pieza de trabajo de aleación, trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación revestida por extrusión. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después, de formar un revestimiento superficial metálico en la pieza de trabajo de aleación, trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación revestida por extrusión a una temperatura de 815 °C a 1371 °C (1500 °F a 2500 °F).

Una operación de forjado de engrosamiento y trefilado puede comprender una o más secuencias de una operación de forja de engrosamiento y una o más secuencias de una operación de forja de trefilado. Durante una operación de forja de engrosamiento, las superficies extremas de una pieza de trabajo pueden estar en contacto con troqueles de forja que aplican fuerza a la pieza de trabajo que comprime la longitud de la pieza de trabajo y aumenta la sección transversal de la pieza de trabajo. Durante una operación de trefilado, las superficies laterales (*por ejemplo*, la superficie circunferencial de una pieza de trabajo cilíndrica) pueden estar en contacto con troqueles de forja que aplican fuerza a la pieza de trabajo comprimiendo la sección transversal de la pieza de trabajo y aumentando la

longitud de la pieza de trabajo.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, por lo general, eliminar al menos una porción del revestimiento superficial metálico y/o restos del revestimiento superficial de la pieza de trabajo. En ciertas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después del trabajo en caliente de la pieza de trabajo revestida, eliminar al menos una porción del revestimiento superficial metálico del producto formado por trabajos en caliente en la pieza de trabajo. La eliminación del material de revestimiento superficial puede comprender, por ejemplo, uno o más de granallado, esmerilado, peladura, y torneado. En ciertas realizaciones no limitantes, la peladura de la pieza de trabajo revestida trabajada en caliente puede comprender un torno de inflexión.

[0076] De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico generalmente puede comprender eliminar al menos una porción de la lata metálica o restos de la lata metálica de la pieza de trabajo. En ciertas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, después de trabajo en caliente la pieza de trabajo en lata, eliminar al menos una porción de la lata metálica desde el producto formado mediante el trabajo en caliente la pieza de trabajo en conserva. Extracción del material de envase puede comprender, por ejemplo, uno o más de granallado, molienda, peladura, y girando. En ciertas realizaciones no limitantes, la peladura de la pieza de trabajo revestida trabajado en caliente puede comprender el torneado.

En diversas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación que se ha procesado para incluir un revestimiento superficial metálico o que se ha enlatado como se describe en la presente memoria se pueden someter a una o más operaciones de forja de engrosamiento y trefilado. Por ejemplo, en una operación de forja de engrosamiento y trefilado triple, una pieza de trabajo revestida o enlatada puede primero forjar engrosándose y después forjarse trefilándose. La secuencia de engrosamiento y trefilado puede repetirse dos veces más para un total de tres operaciones de forja de engrosamiento y trefilado secuenciales. En diversas realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo revestida o enlatada puede someterse a una o más operaciones de extrusión. Por ejemplo, en una operación de extrusión, una pieza de trabajo revestida o enlatada generalmente cilíndrica se puede forzar a través de una boquilla circular, disminuyendo de ese modo el diámetro y aumentando la longitud de la pieza de trabajo. Otras técnicas de trabajo en caliente serán evidentes para los expertos, y los métodos de acuerdo con la presente divulgación pueden adaptarse para su uso con una o más de tales otras técnicas sin la necesidad de experimentación excesiva.

En diversas realizaciones no limitantes, los métodos descritos en la presente memoria pueden utilizarse para producir un tocho forjado a partir de un lingote de aleación en la forma de un lingote moldeado, consolidado, o formado por pulverización. La conversión por forja o conversión por extrusión de un lingote a un tocho u otro artículo trabajado puede producir una estructura de grano más fino en el artículo en comparación con la antigua pieza de trabajo. Los métodos y procesos descritos en la presente memoria para la producción de piezas de trabajo de aleación revestidas y enlatadas puede mejorar el rendimiento de los productos forjados o extruidos (tales como, por ejemplo, tochos) de las piezas de trabajo debido a que el material proporcionado en la superficie de la pieza de trabajo de aleación puede reducir la incidencia del agrietamiento superficial de la pieza de trabajo durante la operaciones de forja y/o de extrusión. Por ejemplo, se ha observado que un revestimiento superficial metálico dispuesto en una región de una superficie de la de pieza de trabajo de aleación de acuerdo con una realización de un método de la presente divulgación tolera la tensión inducida por los troqueles de trabajo. También se ha observado que un revestimiento superficial metálico proporcionado de acuerdo con la presente divulgación tolera más fácilmente las diferencias de temperatura entre los troqueles de trabajo y la pieza de trabajo de aleación durante el trabajo en caliente. De esta manera, se ha observado que un revestimiento superficial metálico de acuerdo con la presente divulgación puede exhibir agrietamiento cero o menor superficie, mientras que se evita o se reduce en la pieza de trabajo de aleación subyacente la iniciación de grietas superficiales durante el trabajo.

En diversas realizaciones no limitantes, los lingotes u otras piezas de trabajo de diversas aleaciones que tienen un revestimiento superficial o están enlatados acuerdo con la presente divulgación se pueden trabajar en caliente para formar productos que pueden utilizarse para fabricar diversos artículos. Por ejemplo, los procesos descritos en la presente memoria se pueden utilizar en procesos de formación de tochos de aleaciones a base de níquel, aleaciones a base de hierro, aleaciones a base de níquel-hierro, aleaciones a base de titanio, aleaciones a base de titanio-níquel, aleaciones con base de cobalto, superaleaciones de base de níquel, y otras superaleaciones. Los tochos u otros productos formados a partir de lingotes u otras piezas de trabajo de aleación trabajados en caliente se pueden utilizar para fabricar artículos que incluyen, pero no se limitan a, componentes de turbina, tales como, por ejemplo, discos y anillos para motores de turbina y varias turbinas en tierra. Otros artículos fabricados a partir de lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación procesados de acuerdo con diversas realizaciones no limitantes descritas en la presente memoria pueden incluir, pero no se limitan a, válvulas, componentes de motores, ejes y elementos de fijación.

Las piezas de trabajo de aleación que se pueden procesar de acuerdo con las diversas realizaciones en la presente memoria pueden estar en cualquier forma adecuada. En realizaciones particulares no limitantes, por ejemplo, las piezas de trabajo de aleación pueden comprender o estar en forma de lingotes, tochos, barras, placas, tubos,

preformas sinterizadas, y similares.

5 Aunque las realizaciones no limitantes particulares de la presente invención se han ilustrado y descrito, sería obvio para los expertos en la materia que otros diversos cambios y modificaciones pueden realizarse dentro del alcance de la presente invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico, comprendiendo el método:
- 5 pulverizar un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie de una pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación;
- 10 en el que el revestimiento superficial es más dúctil que la pieza de trabajo de aleación;
- caracterizado por que:**
- el revestimiento superficial reduce la pérdida de calor de la pieza de trabajo de aleación.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación es una pieza de trabajo de aleación generalmente cilíndrica y el método comprende:
- 15 pulverizar el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación para formar el revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación.
- 20 3. El método de las reivindicaciones 1 o 2, en el que la pieza de trabajo de aleación se hace girar alrededor de un eje longitudinal de la pieza de trabajo durante la pulverización del material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación.
- 25 4. El método de la reivindicación 1, en el que el material de revestimiento metálico comprende partículas seleccionadas a partir de partículas de acero inoxidable y partículas de aleación de base de níquel.
5. El método de la reivindicación 1, en el que el material de revestimiento metálico comprende partículas de al menos un acero inoxidable austenítico seleccionado del grupo que consiste en acero inoxidable de Tipo 304 (UNS nº. S30400), acero inoxidable de Tipo 304 L (UNS nº. S30403), acero inoxidable de Tipo 316 (UNS nº. S31600) y acero inoxidable de Tipo 316L (UNS nº. S31603).
- 30 6. El método de la reivindicación 1, en el que en la presente memoria el material de revestimiento metálico comprende partículas de al menos una aleación de base de níquel seleccionada del grupo que consiste en aleación 600 (UNS n.º N06600) y la aleación 625 (UNS nº. N06625).
- 35 7. El método de la reivindicación 1, en el que la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial comprende pulverizar el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación a una temperatura menor que el punto de fundición del material de revestimiento metálico y el punto de fundición de la pieza de trabajo de aleación.
- 40 8. El método de la reivindicación 7, en el que la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial comprende pulverizar partículas metálicas sólidas sobre la superficie circunferencial.
- 45 9. El método de la reivindicación 7, en el que el material de revestimiento metálico comprende partículas metálicas sólidas.
- 50 10. El método de la reivindicación 1, en el que la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial comprende:
- pulverizar el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación a una temperatura superior o igual al punto de fundición del material de revestimiento metálico y menor que el punto de fundición de la pieza de trabajo de aleación.
- 55 11. El método de la reivindicación 10, en el que la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial comprende al menos una de partículas metálicas semi-fundidas y gotitas metálicas fundidas sobre la superficie circunferencial.
- 60 12. El método de la reivindicación 10, en el que el material de revestimiento metálico comprende al menos una de partículas metálicas semi-fundidas y gotitas metálicas fundidas.
- 65 13. El método de la reivindicación 1, que comprende además, antes de la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial:

calentar al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación a una temperatura superior a 1093 °C (2000 °F).

- 5 14. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado del grupo que consiste en una aleación de base de níquel, una superaleación de base de níquel, una aleación de base de hierro, una aleación de base de níquel-hierro, una aleación de base de titanio, una aleación de base de titanio-níquel y una aleación de base de cobalto.
- 10 15. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado del grupo que consiste en Aleación 718 (UNS n°. N07718), Aleación 720 (UNS n°. N07720), aleación Rene 41™ (UNS n°. N07041), aleación Rene 88™, aleación Waspaloy® (UNS n°. N07001) y aleación Inconel® 100.
- 15 16. El método de la reivindicación 1, en el que el material de revestimiento metálico y la pieza de trabajo de aleación comprenden un metal de base seleccionado del grupo que consiste en cobalto, hierro y níquel.
- 20 17. El método de la reivindicación 16, en el que el metal de base del material de revestimiento metálico es el mismo que el metal de base de la pieza de trabajo de aleación.
- 20 18. El método de la reivindicación 16, en el que el metal de base del material de revestimiento metálico difiere del metal de base de la pieza de trabajo de aleación.
- 25 19. El método de la reivindicación 1, que comprende además, antes de la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial:
acondicionar al menos una porción de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación.
- 30 20. El método de la reivindicación 3, que comprende además:
mover la pieza de trabajo de aleación en una dirección a lo largo del eje longitudinal de la pieza de trabajo de aleación después de completar al menos un giro de la pieza de trabajo de aleación;
pulverizar el material de revestimiento metálico sobre una porción posterior de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación; y
repetir el movimiento y la pulverización hasta que se alcanza un espesor de revestimiento metálico deseado.
- 35 21. El método de la reivindicación 1, que comprende además:
pulverizar el material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de un extremo longitudinal de la pieza de trabajo de aleación para formar un revestimiento superficial unido metalúrgicamente a la pieza de trabajo de aleación.
- 40 22. El método de la reivindicación 1, que comprende además, después de la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial:
laminar la pieza de trabajo de aleación para consolidar el revestimiento superficial metálico.
- 45 23. El método de la reivindicación 1, que comprende además, después de la pulverización de un material de revestimiento metálico sobre al menos una porción de la superficie circunferencial:
trabajar en caliente la pieza de trabajo de aleación con al menos uno de forja y extrusión para deformar la pieza de trabajo de aleación.
- 50 24. El método de la reivindicación 23, que comprende además, después del trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación:
eliminar al menos una porción del revestimiento superficial metálico de la pieza de trabajo de aleación.
- 55

FIG. 1

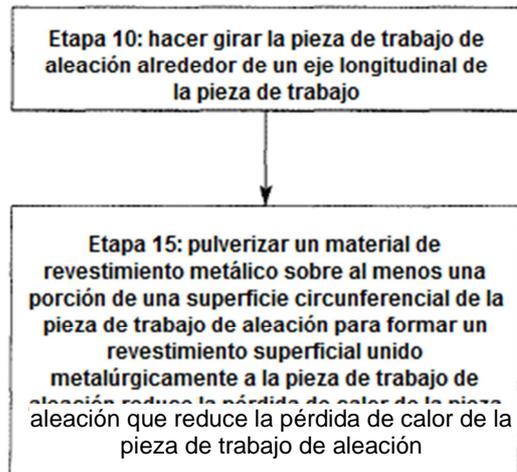


FIG. 2

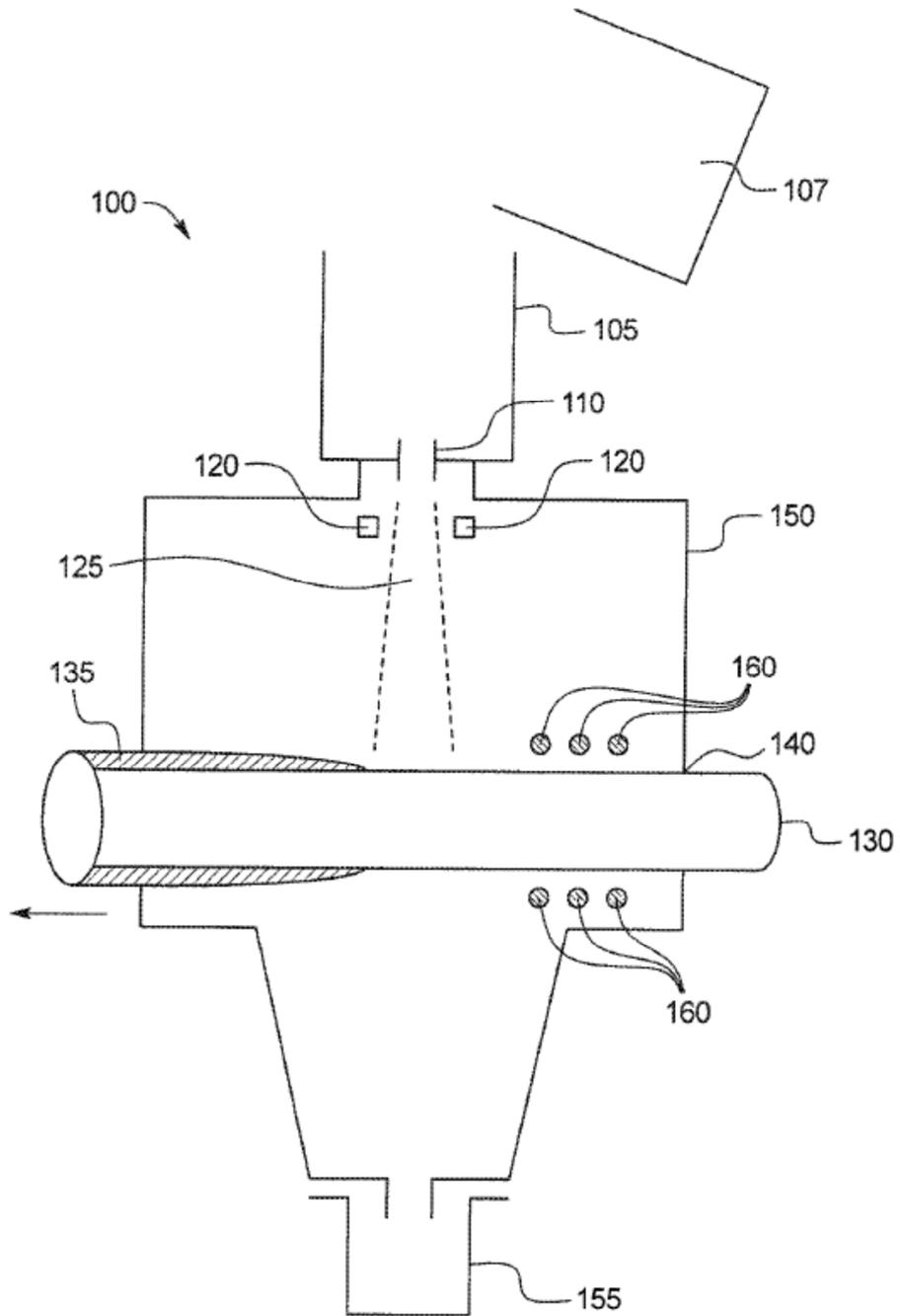


FIG. 3

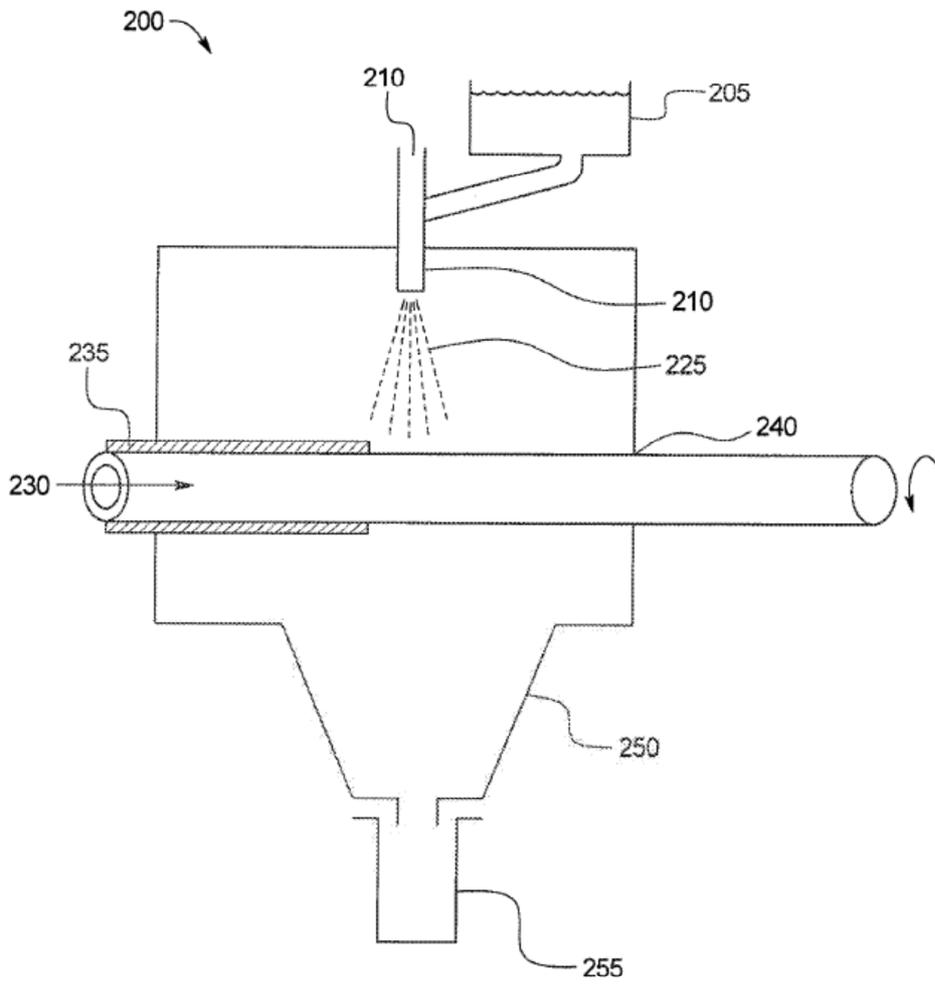


FIG. 4

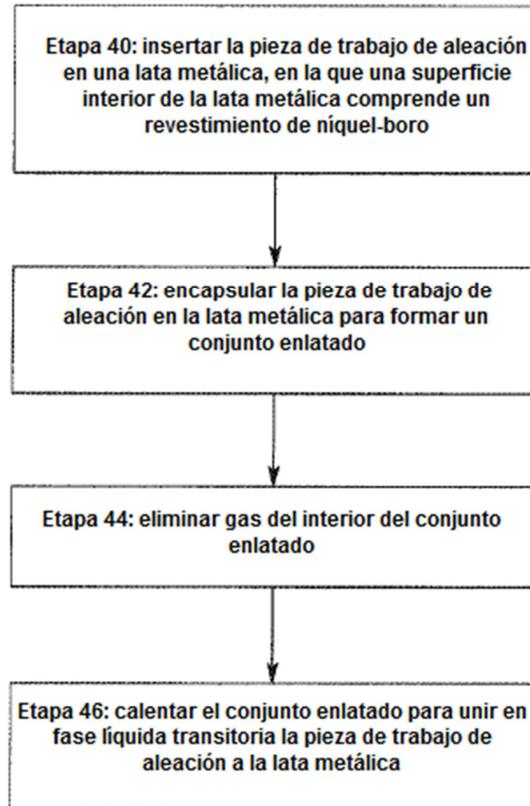


FIG. 5

