(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 645 916**

(51) Int. Cl.:
C22C 19/00 (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.01.2012** **PCT/US2012/020017**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **26.07.2012** **WO12099710**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.01.2012** **E 12700739 (1)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.09.2017** **EP 2665840**

(54) Título: **Mejora de la operabilidad en caliente de aleaciones metálicas a través de un recubrimiento superficial**

(30) Prioridad:

17.01.2011 US 201113007692

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.12.2017

(73) Titular/es:

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

(72) Inventor/es:

MINISANDRAM, RAMESH S.;
KENNEDY, RICHARD L. y
FORBES JONES, ROBIN M.

(74) Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 645 916 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

Mejora de la operabilidad en caliente de aleaciones metálicas a través de un recubrimiento superficial

Campo técnico

La presente divulgación está dirigida a lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación, métodos para procesar las mismas y, en particular, métodos para mejorar la operabilidad en caliente de lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación mediando la proporción de un recubrimiento superficial sobre las mismas.

Antecedentes

Diversas aleaciones pueden caracterizarse por ser "sensibles al craqueo". Los lingotes y otras piezas de trabajo compuestas de aleaciones sensibles al craqueo pueden formar fisuras a lo largo de sus superficies y/o bordes durante operaciones de trabajo en caliente. La formación de artículos a partir de aleaciones sensibles al craqueo puede ser problemático porque, por ejemplo, las fisuras formadas durante el forjado u otras operaciones de trabajo en caliente pueden necesitar lijado o de otro modo retirarse, aumentando el tiempo de producción y gastos, y reduciendo el rendimiento.

Durante ciertas operaciones de trabajo en caliente, tales como forjado y extrusión, los troqueles aplican una fuerza a una pieza de trabajo de aleación para deformar la pieza de trabajo. La interacción entre las superficies del troquel y las superficies de la pieza de trabajo de aleación pueden implicar una transmisión térmica, fricción y desgaste. Una técnica convencional para reducir el craqueo superficial y de los bordes durante el trabajo en caliente es encerrar la pieza de trabajo de aleación en una aleación metálica antes del trabajo en caliente. Con una pieza de trabajo cilíndrica, por ejemplo, el diámetro interior de la aleación puede ser ligeramente más grande que el diámetro exterior de la pieza de trabajo. La pieza de trabajo de aleación puede insertarse dentro del recipiente de aleación de modo que el recipiente de aleación puede rodear holgadamente la pieza de trabajo, y los troqueles entran en contacto con las superficies externas del recipiente de aleación. El recipiente de aleación puede aislar térmicamente y proteger mecánicamente la pieza de trabajo encerrada, eliminando de este modo o reduciendo la incidencia de formación de fisuras sobre la pieza de trabajo. El recipiente de aleación aísla térmicamente la pieza de trabajo de aleación mediante la acción de los huecos de aire entre la pieza de trabajo y las superficies internas del recipiente de aleación y también mediante la inhibición directa de la pieza de trabajo de aleación de irradiar calor al ambiente.

Una operación de enlatado de una pieza de trabajo de aleación puede dar como resultado diversas desventajas. Por ejemplo, el contacto mecánico entre los troqueles y las superficies externas del recipiente de aleación puede romper el recipiente de aleación. En un caso específico, durante el forjado por recaladura y extracción de una pieza de trabajo enlatada, la aleación puede romperse durante la operación de extracción. En tal caso, la pieza de trabajo de aleación puede necesitar volver a enlatarse entre cada ciclo de recaladura y extracción de una operación de forjado por recaladura y extracción múltiple, lo que aumenta la complejidad del proceso y gastos. Adicionalmente, el recipiente de aleación que puede perjudicar a un operario controlar visualmente la superficie de una pieza de trabajo de aleación enlatada de fisuras y otros defectos inducidos por el trabajo.

Debido a los inconvenientes anteriores, sería ventajoso proporcionar un método más efectivo y/o más económico de aleaciones sensibles al craqueo de trabajo en caliente. Más generalmente, sería ventajoso proporcionar un método para mejorar la operabilidad en caliente de lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación.

La Patente de los EE.UU. número 3446606 describe recubrimiento de compuestos de artículos metálicos que tienen un sustrato seleccionado a partir del grupo que consiste en niobio, molibdeno, tantalio, titanio, cromo, vanadio, circonio, hafnio y tungsteno y aleaciones que tienen al menos uno de estos metales de dicho grupo como su base. Los recubrimientos pueden incluir una zona superficial de vidrio.

Sumario

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, se describen métodos para el procesamiento de lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación.

Diversas realizaciones no limitantes que se desvelan en el presente documento están dirigidas a métodos para mejorar la operabilidad en caliente de piezas de trabajo de aleación mediante la proporción de un recubrimiento superficie sobre las mismas. En una realización no limitante de acuerdo con la presente divulgación, un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación incluye: depositar un material de vidrio sobre al menos una parte de una pieza de trabajo de aleación; y calentar el material de vidrio para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo de aleación que reduzca la pérdida térmica de la pieza de trabajo de aleación. En diversas realizaciones no limitantes del método, el material de vidrio puede seleccionarse a partir de una fibra de vidrio, una partícula de vidrio y una cinta de vidrio. En diversas realizaciones no limitantes, depositar el material de vidrio sobre al menos una parte de la pieza de trabajo puede incluir al menos uno de deposición, pulverización, tinción, aspersión, laminado, inmersión, enrollado y encolado. En diversas realizaciones no limitantes, calentar el material de

vidrio incluye calentar el material de vidrio a una temperatura de 1000 °F a 2200 °F. En diversas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo comprende un material seleccionado a partir de una aleación a base de níquel, una superaleación a base de níquel, una aleación a base de hierro, una aleación a base de níquel-hierro, una aleación a base de titanio, una aleación a base de titanio-níquel y una aleación a base de cobalto. En diversas realizaciones no limitantes del método, la pieza de trabajo puede comprender o seleccionarse a partir de un lingote, un lingote de sección cuadrada, una barra, una placa, un tubo, una preforma sinterizada o similar. En diversas realizaciones no limitantes del método, el método incluye adicionalmente, después de calentar el material de vidrio, una o más etapas seleccionadas a partir de: aplicar una fuerza con al menos uno de un troquelado y de laminado a la pieza de trabajo para deformar la pieza de trabajo; trabajar en caliente la pieza de trabajo, en la que el trabajo en caliente comprende al menos uno de forjado y de extrusión; enfriar la pieza de trabajo; retirar al menos una parte del recubrimiento superficial de la pieza de trabajo por al menos un chorreo con granalla, trituración, peladura y torneado; y cualquier combinación de los mismos.

En una realización adicional no limitante de acuerdo con la presente divulgación, un método de trabajo en caliente de una pieza de trabajo incluye: disponer una manta de fibra de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de una pieza de trabajo de aleación; calentar la manta de fibra de vidrio para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo; aplicar fuerza con al menos uno de un troquelado y de laminado para deformar la pieza de trabajo, en la que el al menos uno de troquelado y laminado entra en contacto con el recubrimiento superficial sobre una superficie de la pieza de trabajo; y retirar al menos una parte del recubrimiento superficial de la pieza de trabajo. En diversas realizaciones no limitantes, al menos uno de troquelado y laminado entra en contacto con al menos un resto del recubrimiento superficial sobre una superficie de la pieza de trabajo. En diversas realizaciones no limitantes del método, la pieza de trabajo puede comprender o seleccionarse a partir de un lingote, un lingote de sección cuadrada, una barra, una placa, un tubo, una preforma sinterizada o similar.

Realizaciones no limitantes adicionales de acuerdo con la presente divulgación están dirigidas a piezas de trabajo de aleación fabricadas o procesadas según cualquiera de los métodos de la presente divulgación.

Sin embargo, realizaciones no limitantes adicionales de acuerdo con la presente divulgación están dirigidas a artículos de fabricación fabricados a partir de o que incluyen piezas de trabajo de aleación fabricadas o procesadas según cualquiera de los métodos de la presente divulgación. Tal artículo de fabricación incluye, por ejemplo, componentes de motores de reacción, componentes de turbinas terrestres, válvulas, componentes de motores, ástiles y sujetadores.

Descripción de las figuras de los dibujos

Las diversas realizaciones no limitantes descritas en el presente documento pueden entenderse mejor mediante la consideración de la siguiente descripción junto con las figuras de los dibujos adjuntos.

La FIG. 1 es un diagrama de flujo de acuerdo con determinadas realizaciones no limitantes de un método descrito en el presente documento.
La FIG. 2 es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.
La FIG. 3 es una fotografía de la pieza de trabajo de la FIG. 2 que comprende una manta de fibra de vidrio dispuesta sobre la misma de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.
La FIG. 4 es una fotografía de la pieza de trabajo de aleación de la FIG. 3 que comprende un recubrimiento superficial sobre la misma reduciendo la pérdida térmica de la pieza de trabajo de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento, en la que la pieza de trabajo no se ha trabajado.
La FIG. 5 es un gráfico que traza la temperatura superficial a lo largo del tiempo durante el forjado de una pieza de trabajo de aleación que carece de un recubrimiento superficial que se muestra en las FIG. 6 y 7 y durante el forjado de una pieza de trabajo que incluye un recubrimiento superficial que se muestra en las FIG. 6 y 7.
Las FIG. 6 y 7 son fotografías de una pieza de trabajo de aleación que carece de un recubrimiento superficial (la pieza de trabajo a la derecha de cada fotografía) y la pieza de trabajo forjada de la FIG. 4 que incluye un recubrimiento superficial (la pieza de trabajo a la izquierda de cada fotografía).
La FIG. 8 es un gráfico que traza la temperatura a lo largo del tiempo durante el enfriamiento de una pieza de trabajo de aleación que carece de recubrimiento superficial ("REFRIGERACIÓN POR AIRE") y piezas de trabajo de aleación que incluyen recubrimientos superficiales sobre las mismas de acuerdo con realizaciones no limitantes descritas en el presente documento.
La FIG. 9 es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación que incluye un recubrimiento superficial sobre la misma de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.
La FIG. 10 es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación forjada que comprende una parte que carece de un recubrimiento superficial y una parte que incluye un recubrimiento superficial sobre la misma de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.
La FIG. 11 es una fotografía de regiones de la pieza de trabajo de la FIG. 10 después de retirar al menos una parte del recubrimiento superficial de la pieza de trabajo.
La FIG. 12 es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación que tiene un recubrimiento superficial sobre la misma de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.

La FIG. 13 es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación que comprende una cinta de vidrio dispuesta sobre la misma de acuerdo con una realización no limitante descrita en el presente documento.

Descripción de ciertas realizaciones no limitantes

Tal como se usa generalmente en el presente documento, los términos "que consiste esencialmente en" y "que consiste en" se incluyen en el término "que comprende".

Tal como se usa generalmente en el presente documento, los artículos "uno", "una", "un" y "el", "la" significa "al menos uno" o "uno o más", a menos que se indique lo contrario.

Tal como se usa generalmente en el presente documento, los términos "que incluye" y "que tiene" significan "que comprende".

Tal como se usa generalmente en el presente documento, el término "punto de reblandecimiento" se refiere a la temperatura mínima en la que un material de vidrio particular ya no se comporta como un sólido rígido y empieza a combarse sobre su propio peso.

Durante las operaciones de trabajo en caliente, tal como, por ejemplo, operaciones de forjado y operaciones de extrusión, puede aplicarse una fuerza a un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación a una temperatura superior que a 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 un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación que está siendo sometida a la operación de trabajo puede ser superior que la temperatura de los troqueles y otras estructuras usadas para aplicar fuerza mecánicamente a las superficies de la pieza de trabajo. La pieza de trabajo puede formar gradientes de temperatura debido al enfriamiento de su superficie mediante pérdida térmica a aire ambiente y el desplazamiento de gradiente entre sus superficies y los troqueles de contacto u otras superficies. Los gradientes de temperatura pueden contribuir al craqueo superficial de la pieza de trabajo durante el trabajo en caliente. El craqueo superficial resulta especialmente problemático en situaciones en las que los lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación están formadas a partir de aleaciones sensibles al craqueo.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender una aleación sensible al craqueo. 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 superaleaciones a base de níquel, pueden ser sensibles al craqueo, especialmente durante operaciones de trabajo en caliente. Puede formarse un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación a partir de tales aleaciones y superaleaciones sensibles al craqueo. Por ejemplo, puede formarse una pieza de trabajo de aleación sensible al craqueo a partir de aleaciones o superaleaciones seleccionadas a partir de, pero sin limitación, Aleación 718 (UNS No. N07718), Aleación 720 (UNS No. N07720), Aleación Rene 41™ (UNS No. N07041), Aleación Rene 88™, Aleación Waspaloy® (UNS No. N07001), y aleación Inconel® 100. Aunque los métodos descritos en el presente documentos son ventajosos para el uso en conexión con aleaciones sensibles al craqueo, se entenderá que los métodos también son generalmente aplicables a cualquier aleación, que incluyen, por ejemplo, aleaciones caracterizadas por una ductilidad relativamente baja en temperaturas de trabajo calientes, las aleaciones trabajadas en caliente a temperaturas de 1000 °F a 2200 °F y aleaciones no tienden generalmente a craquear. Tal como se usa en el presente documento, el término "aleación" incluye aleaciones y superaleaciones convencionales. Tal como se entiende por aquellos expertos en la materia, las superaleaciones exhiben una estabilidad de superficie, corrosión y resistencia a la oxidación, alta fuerza y alta resistencia a la deformación retardad a altas temperaturas relativamente buenas. En diversas realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede comprender o seleccionarse a partir de un lingote, un lingote de sección cuadrada, una barra, una placa, un tubo, una preforma sinterizada o similar.

Un lingote de aleación y otra pieza de trabajo de aleación puede formarse usando, por ejemplo, técnicas metalúrgicas convencionales o técnicas de metalurgia de polvos. Por ejemplo, En diversas realizaciones no limitantes, puede formarse un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación mediante una combinación de fusión por inducción al vacío (VIM) y refusión por arco al vacío (VAR), conocido como una operación VIM-VAR. En diversas realizaciones no limitantes, puede formarse una pieza de trabajo de aleación mediante una técnica de fusión triple, en la que se realiza una operación de refusión con electroescorias (ESR) intermediaria, una operación VIM y una operación VAR, proporcionando una secuencia VIM-ESR-VAR (es decir, fusión triple). En otras realizaciones no limitantes, la pieza de trabajo de aleación puede formarse usando una operación de metalurgia de polvos que involucra la atomización de aleación fundida y la recogida y consolidación de los polvos metalúrgicos resultante dentro de una pieza de trabajo de aleación.

En determinadas realizaciones no limitantes, Un lingote de aleación y otra pieza de trabajo de aleación puede formarse usando una operación de formación por pulverización. Por ejemplo, puede usarse VIM para preparar una aleación de base a partir de una materia prima. Puede usarse opcionalmente una operación ESR después de VIM. La aleación fundida puede extraerse de un fondo de fusión VIM o ESR y atomizarse para formar gotas fundidas. La aleación fundida puede extraerse de un fondo de fusión usando una guía de inducción de pared fría (CIG), por

ejemplo. Las gotas de aleación fundida pueden depositarse usando una operación de formación por pulverización para formar una pieza de trabajo de aleación solidificada.

En determinadas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación y otra pieza de trabajo de aleación puede formarse usando un prensado isostático caliente (HIP). El HIP se refiere generalmente a la aplicación isostática de un gas a alta presión y a alta temperatura, tal como, por ejemplo, argón, para compactar y consolidar material en polvo en una preforma monolítica. El polvo puede separar del gas de alta presión y alta temperatura mediante un depósito herméticamente sellado, que funciona como barrera de presión entre el gas y el polvo que está siendo compactado y consolidado. El depósito herméticamente sellado puede deformarse plásticamente para compactar el polvo, y las temperaturas elevadas pueden sinterizar efectivamente las partículas de polvo individuales juntas para formar una preforma monolítica. Puede aplicarse una presión de compactación uniforme en todo el polvo y puede lograrse una distribución de densidad homogénea en la preforma. Por ejemplo, un polvo de aleación níquel-titanio casi equiatómico pude cargarse en un depósito metálico, tal como, por ejemplo, un recipiente de acero y liberar de gases para retirar la humedad absorbida y gas atrapado. El depósito que contiene el polvo de aleación níquel-titanio casi equiatómico puede sellarse herméticamente al vacío, tal como, por ejemplo, mediante soldadura. El depósito sellado puede a continuación someterse a HIP a una temperatura y con una presión suficiente para lograr la densificación completa del polvo de aleación níquel-titanio en el depósito, formando de este modo una preforma de aleación níquel-titano casi equiatómica completamente densificada.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de un lingote de aleación y otra pieza de trabajo puede comprender generalmente la deposición de un material inorgánico sobre al menos una parte de una pieza de trabajo de aleación y el calentamiento del material inorgánico para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo que reduzca la pérdida térmica de la pieza de trabajo. El material inorgánico puede comprender uno o más de un material aislante térmicamente que comprende, por ejemplo, un material seleccionado a partir de una fibra, una partícula y una cinta. El material inorgánico puede comprender, por ejemplo, uno o más de óxido de aluminio, óxido de calcio, óxido de magnesio, dióxido de silicio, óxido de circonio, óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxido de boro y similares. El material inorgánico puede tener un punto de fusión o un punto de reblandecimiento de 500 °F o superior, tal como, por ejemplo, 500 °F a 2500 °F y 1000 °F a 2200 °F. El método puede comprender, por ejemplo, depositar el material orgánico sobre al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo de aleación y calentar el material inorgánico para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajar y reducir la pérdida térmica de la pieza de trabajo. En diversas realizaciones no limitantes, calentar el material inorgánico incluye calentar el material inorgánico a una temperatura de forjado, tal como 1000 °F a 2200 °F. La composición y forma del material inorgánico puede seleccionarse para formar un recubrimiento superficial viscoso a la temperatura de forjado. El recubrimiento superficial puede adherirse a la superficie de la pieza de trabajo de aleación. El recubrimiento superficial puede estar caracterizado como un recubrimiento superficial adherente. Además de eliminar o reducir el craqueo superficial, el recubrimiento superficial según la presente divulgación también puede lubricar superficies del lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación durante operaciones de trabajo en caliente.

En referencia a la FIG. 1, una realización no limitante de un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación que reduce el craqueo térmico de acuerdo con la presente divulgación puede comprender generalmente depositar un material de vidrio inorgánico sobre una parte de un lingote de aleación y otra pieza de trabajo de aleación y calentar el material de vidrio para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo y reducir la pérdida térmica de la pieza de trabajo. El material de vidrio puede comprender un material aislante térmicamente que comprende uno o más de una fibra de vidrio, una partícula de vidrio y una cinta de vidrio. El material de vidrio proporcionado sobre la pieza de trabajo puede formar un recubrimiento superficial viscoso sobre la pieza de trabajo cuando el material de vidrio se calienta a una temperatura adecuada. La composición y forma del material de vidrio puede seleccionarse para formar un recubrimiento superficial viscoso y una temperatura de forjado. El recubrimiento superficial de material de vidrio puede adherirse a la superficie de la pieza de trabajar y retenerse sobre la superficie hasta y durante el trabajo en caliente. El recubrimiento superficial de material de vidrio puede estar caracterizado como un recubrimiento superficial adherente. El recubrimiento superficial de material de vidrio proporcionado mediante el calentamiento del material de vidrio puede reducir la pérdida térmica de la pieza de trabajo de aleación y eliminar o reducir la incidencia de craqueo superficial resultante del forjado, extrusión u otro modo de trabajar la pieza de trabajo de aleación con respecto a otra pieza de trabajo de aleación idéntica que carece de tal recubrimiento superficial. Además de eliminar o reducir el craqueo superficial, el recubrimiento superficial de material de vidrio según la presente divulgación también puede lubricar superficies de la pieza de trabajo de aleación durante operaciones de trabajo en caliente.

En determinadas realizaciones no limitantes, las fibras inorgánicas pueden comprender fibras de vidrio. Las fibras de vidrio pueden comprender fibras continuas y/o fibras discontinuas. Las fibras discontinuas pueden fabricarse, por ejemplo, mediante el corte o troceado de fibras continuas. Las fibras de vidrio pueden comprender, por ejemplo, uno o más de SiO_2, Al_2O_3, y MgO. Las fibras de vidrio pueden comprender, por ejemplo, fibras de aluminosilicato de magnesio. Las fibras de vidrio pueden comprender, por ejemplo, fibras de aluminosilicato de magnesio seleccionadas a partir del grupo que consiste en fibras de vidrio E, fibras de vidrio S, fibras de vidrio S2 y fibras de vidrio R. Las fibras de vidrio E pueden comprender uno o más de SiO_2, Al_2O_3, B_2O_3, CaO, MgO, y otros óxidos. Las fibras de vidrio S y fibras de vidrio S2 pueden comprender uno o más de SiO_2, Al_2O_3, MgO. Las fibras de vidrio R

pueden comprender uno o más de SiO_2, Al_2O_3, CaO, y MgO. En determinadas realizaciones no limitantes, las fibras inorgánicas pueden comprender fibras de cerámica refractarias. Las fibras de cerámica refractarias pueden ser amorfas y comprender uno o más de SiO_2, Al_2O_3, y ZrO_2.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, una pluralidad de las fibras de vidrio puede comprender uno o más de un ovillo, una cinta o estopa, un tejido y un tablero. Tal como se usa generalmente en el presente documento el término "tejido" se refiere a materiales que pueden materiales tejidos, de punto, de fieltro, de fusión o materiales no tejidos, o que de otro modo están hechos con fibras. El tejido puede comprender un aglutinante para mantener la pluralidad de fibras juntas. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede comprender un hilo, una manta, una alfombrilla, un papel, un fieltro y similares. En determinadas realizaciones no limitantes, las fibras de vidrio pueden comprender una manta de vidrio. La manta de vidrio puede comprender, por ejemplo, fibras de vidrio E. Entre las mantas de vidrio ilustrativas que comprenden fibras de vidrio E útiles en realizaciones de acuerdo con la presente divulgación se incluyen, pero sin limitarse a, fibras disponibles en el mercado de Anchor Industrial Sales, Inc. (Kernersville, NC) con el nombre comercial Style 412" and "Style 412B" que tienen un espesor de 0,062 pulgadas, fibras de vidrio E que tienen un peso de 24 oz./yd^2, y una velocidad de calentamiento de 1000 ºF. El tejido de vidrio puede comprender, por ejemplo, una manta de fibra de vidrio, tal como, por ejemplo, un manta de vidrio E. El tejido puede tener cualquier anchura y longitud adecuada para cubrir al menos una parte de la pieza de trabajo. La anchura y longitud del tejido puede variar de acuerdo con el tamaño y/o forma de la pieza de trabajo. El espesor del tejido puede variar de acuerdo con la conductividad térmica del tejido. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede tener un espesor de 1-25 mm, tal como 5-20 mm o 8-16 mm.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, las partículas inorgánicas pueden comprender partículas de vidrio. Las partículas de vidrio pueden referirse como "fritas" o "cargas". Las partículas de vidrio pueden comprender, por ejemplo, uno o más de óxido de aluminio, óxido de calcio, óxido de magnesio, dióxido de silicio, óxido de circonio, sodio y óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxido de boro y similares. En determinadas realizaciones no limitantes, las partículas de vidrio, por ejemplo, pueden estar libres de plomo o comprender solo niveles de trazas de plomo. En determinadas realizaciones, las partículas de vidrio pueden tener un intervalo de trabajo en caliente de metal de 1400-2300 °F, tal como, por ejemplo, 1400-1850 ºF, 1850-2050 ºF, 1850-2100 °F, o 1900-2300 °F. Partículas de vidrio ilustrativas útiles en realizaciones de acuerdo con la presente divulgación incluyen materiales disponibles en el mercado por Advance Technical Products (Cincinnati, OH) con el nombre comercial de "Oxylub-327", "Oxylub-811", "Oxylub-709", y "Oxylub-921".

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, la cinta inorgánica puede comprender una cinta de vidrio. En determinadas realizaciones, la cinta de vidrio puede comprender un tejido de fondo de vidrio y un adhesivo. El tejido de fondo de vidrio puede comprender, por ejemplo, uno o más de óxido de aluminio, óxido de calcio, óxido de magnesio, dióxido de silicio, óxido de circonio, sodio y óxido de sodio, óxido de litio, óxido de potasio, óxido de boro y similares. El tejido de fondo de vidrio puede comprender una fibra de vidrio, tal como un hilo de vidrio, un tejido de vidrio y una tela de vidrio. El tejido de fondo de vidrio puede comprender un filamento de vidrio. En diversas realizaciones no limitantes, la cinta de vidrio puede comprender una cinta de envasado reforzada con filamento de fibra. En diversas realizaciones no limitantes, la cinta de vidrio puede comprender una cinta adhesiva que incluye un tejido de fondo de tela de vidrio o una cinta impregnada con hilo de vidrio o filamento. En diversas realizaciones no limitantes, la cinta de vidrio puede comprender un tejido de fondo de polipropileno reforzado con hilo de vidrio continuo. En diversas realizaciones no limitantes, la cinta de vidrio puede tener características que incluye: una adhesión al acero de aproximadamente 55 oz./pulgadas. de anchura (60 N/100 mm anchura) según el Método de Ensayo ASTM D-3330; una resistencia a la tracción de aproximadamente 300 lbs./pulgadas de anchura (5250 N/100 mm anchura) según el Método de Ensayo ASTM D-3759; una elongación de rotura de aproximadamente 4,5 % según el Método de Ensayo ASTM D-3759; y/o un espesor total de aproximadamente 6,0 mil (0,15 mm) según el Método de Ensayo ASTM D-3652. Existen cintas de vidrio ilustrativas útiles en realizaciones de acuerdo con la presente divulgación disponibles en el mercado de 3M Company (St. Paul, MN) con el nombre comercial de SCOTCH® Filament Tape 893.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación de un modo que reduce el craqueo térmico durante el trabajo en caliente puede comprender generalmente disponer un tejido de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede disponerse sobre una parte sustancial de la superficie de la pieza de trabajo. La superficie de una pieza de trabajo de aleación puede comprender, por ejemplo, una superficie circunferencial y dos superficies laterales dispuestas en cada extremo de la superficie circunferencial. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede disponerse sobre una parte sustancial de una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación cilíndrica. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede disponerse sobre la superficie circunferencial de la pieza de trabajo cilíndrica y al menos una superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica. En al menos una realización no limitante, la manta de vidrio puede disponerse sobre al menos una parte de una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación cilíndrica y al menos una superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica. En determinadas realizaciones no limitantes, más de uno tejido de vidrio, tales como dos, tres o más, puede cada uno disponerse sobre el menos una parte de una superficie de una pieza de trabajo cilíndrica y/o al menos una superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica. El tejido puede disponerse mediante el enrollado transversal del tejido alrededor de la superficie circunferencial de la pieza de

trabajo, por ejemplo. Una persona experta en la técnica entenderá que en algunas realizaciones no limitantes el tejido de vidrio puede asegurarse a la pieza usando adhesivos y/o sujetadores mecánicos tales como, por ejemplo, cinta de vidrio y alambre para embalar.

En determinadas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el craqueo térmico durante el trabajo en caliente puede comprender la repetición de la etapa de disponer un tejido de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo. Por ejemplo, el tejido puede enrollarse alrededor de la pieza de trabajo al menos una vez, dos veces, tres veces, cuatro veces o más de cuatro veces. En determinadas realizaciones no limitantes, el tejido puede enrollarse alrededor de la pieza de trabajo hasta que se logra un espesor predeterminado. Como alternativa, más de un tejido de vidrio puede disponerse sobre al menos una parte de una superficie circunferencial de una pieza de trabajo y al menos una de cada superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica hasta que se logra un espesor predeterminado. Por ejemplo, el espesor predeterminado puede ser de 1 mm a 50 mm, tal como 10 mm a 40 mm. En al menos una realización no limitante, el método puede comprender disponer un primer tejido de vidrio sobre al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo y un segundo tejido de vidrio sobre al menos uno del primer tejido de vidrio y al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo. El primer tejido de vidrio y el segundo tejido de vidrio pueden comprender el mismo o distintos materiales inorgánicos. Por ejemplo, el primer tejido de vidrio puede comprender una primera manta de vidrio E y un segundo tejido de vidrio puede comprender un segundo tejido de vidrio E. En una realización no limitante, el primer tejido de vidrio puede comprender una manta de vidrio E y el segundo tejido de vidrio puede comprender una manta de cerámica, tal como, por ejemplo, una manta KAOWOOL, que es un material producir a partir de arcilla refractario de aluminio-sílice.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de una pieza de trabajo para reducir el craqueo térmico puede comprender generalmente depositar partículas de vidrio sobre al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, las partículas pueden depositarse sobre una parte sustancial de la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, las partículas pueden depositarse sobre la superficie circunferencial de una pieza de trabajo cilíndrica y/o al menos una superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica. Depositar las partículas sobre una superficie de la pieza de trabajo puede comprender, por ejemplo, uno o más de laminado, inmersión, pulverización, cepillado y aspersión. El método puede comprender calentar la pieza de trabajo a una temperatura predeterminada antes de depositar las partículas. Por ejemplo, se puede calentar una pieza de trabajo a una temperatura de forjado, tal como 1000 °F a 2000 °F, y 1500 °F, y laminarse en una cama de partículas de vidrio para depositar las partículas de vidrio sobre una superficie 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 craqueo térmico puede comprender generalmente disponer una cinta de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, la cinta puede disponerse sobre una parte sustancial de la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, la cinta puede disponerse sobre una superficie circunferencial de una pieza de trabajo cilíndrica y/o al menos una superficie lateral de la pieza de trabajo. Disponer la cinta sobre una superficie de la pieza de trabajo puede comprender, por ejemplo, uno o más de enrollar y encolar. En diversas realizaciones no limitantes, por ejemplo, la cinta puede disponerse mediante el enrollado transversal de la cinta alrededor de la superficie circunferencial de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, la cinta puede disponerse sobre una superficie mediante la adhesión de la cinta sobre la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, la cinta puede disponerse sobre al menos una parte de una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación cilíndrica y/o al menos una parte de una manta de vidrio. La FIG. 13, por ejemplo, es una fotografía de una pieza de trabajo de aleación en la forma de un lingote de aleación, y el cual incluye una cinta de vidrio dispuesta sobre la superficie circunferencial de la pieza de trabajo y sobre los extremos o caras opuestas de la pieza de trabajo.

En determinadas realizaciones no limitantes, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir craqueo térmico puede comprender repetir una o más veces la etapa de disponer una cinta de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo. Por ejemplo, la cinta puede enrollarse alrededor de la pieza de trabajo al menos una vez, dos veces, tres veces, cuatro veces o más de cuatro veces. En al menos una realización no limitante, el método puede comprender enrollar una primera cinta de vidrio sobre al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo y enrollar una segunda cinta de vidrio sobre al menos uno del primer tejido de vidrio y al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo no enrollada. En al menos una realización no limitante, el método puede comprender encolar una primera cinta de vidrio a al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo y enrollar una segunda cinta de vidrio a al menos uno del primer tejido de vidrio y al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo no enrollada. La primera cinta de vidrio y la segunda cinta de vidrio pueden comprender el mismo o distintos materiales inorgánicos. En determinadas realizaciones no limitantes, la cinta puede disponerse sobre de la pieza de trabajo de aleación hasta que se logra un espesor predeterminado. Como alternativa, más de una cinta de vidrio puede disponerse sobre al menos una parte de una superficie circunferencial de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación y al menos una de cada superficie lateral de la pieza de trabajo cilíndrica hasta que se logra un espesor predeterminado. El espesor predeterminado puede ser, por ejemplo, de menos de 1 mm a 50 mm, tal como 10 mm a 40 mm.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, el material de vidrio proporcionado sobre la pieza de trabajo de aleación puede formar un recubrimiento superficial viscoso sobre la pieza de trabajo cuando el material de vidrio se calienta. La pieza de trabajo que comprende el material de vidrio sobre el mismo puede calentarse en horno. La composición del material de vidrio puede seleccionarse para formar un recubrimiento superficial viscoso y la temperatura de forjado. Por ejemplo, los óxidos que comprenden el material de vidrio pueden seleccionarse para proporcionar un material de vidrio que tenga un punto de fusión o un punto de reblandecimiento a una temperatura predeterminada, tal como una temperatura de forjado. En otro ejemplo, la forma del material de vidrio, *es decir,* una fibra, una partícula, una cinta y combinaciones de las mismas, puede seleccionarse para formar un recubrimiento superficial viscoso a una temperatura predeterminada, tal como, una temperatura de forjado. Un tejido de vidrio proporcionado sobre una superficie de la pieza de trabajo puede formar un recubrimiento superficial viscoso sobre la pieza de trabajo cuando el material de vidrio se calienta, por ejemplo, en un horno a una temperatura de 1900 °F a 2100 °F. Las partículas de vidrio proporcionadas sobre una superficie de la pieza de trabajo pueden formar un recubrimiento superficial viscoso sobre la pieza de trabajo cuando el material de vidrio se calienta, por ejemplo, en un horno a una temperatura de 1450 °F a 1550 °F. Una cinta de vidrio proporcionada sobre una superficie de la pieza de trabajo puede formar un recubrimiento superficial viscoso sobre la pieza de trabajo cuando el material de vidrio se calienta, por ejemplo, en un horno a una temperatura de 1900 °F a 2100 °F.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitantes, un recubrimiento superficial proporcionado sobre una superficie de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación puede caracterizarse como un recubrimiento superficial adherente. El recubrimiento superficial viscoso puede formar un recubrimiento superficial adherente cuando el recubrimiento superficial se enfría. Por ejemplo, el recubrimiento superficial viscoso puede formar un recubrimiento superficial adherente cuando pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial se retira del horno. Un recubrimiento superficial puede estar caracterizado por ser "adherente" cuando el recubrimiento superficial no rebosa inmediatamente una superficie de la pieza de trabajo. Por ejemplo, En diversas realizaciones no limitantes, un recubrimiento superficial puede ser considerado "adherente" cuando el recubrimiento no rebosa inmediatamente la superficie cuando el lingote de aleación o la otra pieza de aleación se retira del horno. En otro ejemplo, En diversas realizaciones no limitantes, un recubrimiento superficial sobre una superficie circunferencial de una pieza de trabajo de aleación que tiene un eje longitudinal y una superficie circunferencial puede considerar "adherente" cuando el recubrimiento no rebosa inmediatamente la superficie circunferencial cuando la pieza de trabajo se deposita de modo que el eje longitudinal está orientado verticalmente, tal como, por ejemplo, a 45º a 135º en relación con la superficie horizontal. Un recubrimiento superficial puede caracterizarse como un recubrimiento superficial "no adherente" cuando el recubrimiento adicional rebosa inmediatamente la superficie de la pieza de trabajo cuando la pieza de trabajo se retira del horno.

El intervalo de temperatura sobre el cual las aleaciones pueden trabajarse en caliente puede tenerse en consideración la temperatura en la cual se inician fisuras en la aleación y la composición y la forma del material inorgánico. A una temperatura de inicio dada para una operación de trabajo en caliente, algunas aleaciones pueden trabajarse en caliente eficazmente sobre un intervalo de temperatura mayor que otras aleaciones debido a las diferencias en la temperatura en la que se inician las fisuras 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 pequeña en la que la aleación puede trabajarse en caliente y la temperatura en la que se inician las fisuras), el espesor del material inorgánico puede ser relativamente más grande para inhibir o evitar que la pieza de trabajo subyacente se enfríe a un intervalo de temperatura frágil en el que se inician las fisuras. Del mismo modo, para aleaciones que tienen un intervalo de temperatura de trabajo en caliente relativamente grande (es decir, el espesor del material inorgánico puede ser relativamente más pequeño para inhibir o evitar que el lingote de aleación subyacente u otra pieza de trabajo de aleación se enfríe a un intervalo de temperatura frágil en el que se inician las fisuras.

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 craqueo térmico puede comprender generalmente calentar el material inorgánico para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo. Calentar el material inorgánico puede comprender, por ejemplo, calentar el material inorgánico a una temperatura de 500-2500 °F, tal como, por ejemplo, 500-1500 ºF, 1000-2000 ºF, 1500 °F-2000 °F, o 2000-2500 °F, para formar el recubrimiento superficial. En determinadas realizaciones no limitantes, las fibras inorgánicas, tales como mantas de vidrio y cintas de vidrio, pueden calentarse a una temperatura de 2000-2500 °F. En determinadas realizaciones no limitantes, las partículas inorgánicas, tales como partículas de vidrio, pueden calentarse a una temperatura de 1500-2000 °F. En determinadas realizaciones no limitantes, la temperatura puede ser superior que el punto de fusión del material inorgánico. En determinadas realizaciones no limitantes, la temperatura puede ser superior que la velocidad de calentamiento del material inorgánico. En diversas realizaciones no limitantes, la temperatura puede ser superior que el punto de fusión del tejido de vidrio, una partícula de vidrio y/o una cinta de vidrio. En una realización no limitante, la temperatura puede ser superior que el punto de fusión de la manta de vidrio. tal como lo entiende un experto en la técnica, los materiales inorgánicos pueden no tener un punto de fusión y pueden caracterizarse por un "punto de reblandecimiento". El Método de Ensayo ASTM C338 - 93(2008), por ejemplo, proporciona un método de ensayo estándar para determinar el punto de reblandecimiento de un vidrio. Como tal, en determinadas realizaciones no limitantes, el material inorgánico puede calentarse a una temperatura que es al menos el punto de reblandecimiento del material inorgánico.

En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede estar formado sobre al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo de aleación. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede estar formado sobre una parte sustancial de la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede recubrir completamente la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede estar formado sobre una superficie circunferencial de la pieza de trabajo de aleación. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede formarse sobre una superficie circunferencial de la pieza de trabajo y al menos una cara lateral de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede formarse sobre una superficie circunferencial de la pieza de trabajo y cada cara lateral de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede estar formado sobre al menos una parte de la superficie de la pieza de trabajo libre de material inorgánico. Por ejemplo, el material inorgánico puede depositarse sobre una parte de la superficie de la pieza de trabajo. El material inorgánico puede fundirse cuando se calienta. El material inorgánico fundido puede fluir a una parte de la superficie de la pieza de trabajo sobre la cual el material inorgánico no se depositó.

El material inorgánico puede depositarse a un espesor suficiente para formar un recubrimiento superficial sobre el mismo cuando se calienta, en el que el recubrimiento superficial aísla la pieza de trabajo subyacente de la superficie de un troquel en contacto, inhibiendo de este modo o evitando que la superficie de la pieza de trabajo subyacente se enfríe a una temperatura que la superficie de la pieza de trabajo pueda ser más fácil de fisurar durante el trabajo en caliente. De esta manera, temperaturas mayores de trabajo en caliente se pueden correlacionar generalmente con una preferencia por espesores de recubrimiento superficial mayores. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede tener un espesor adecuado para reducir la pérdida térmica a partir de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede tener un espesor de 0,1 mm a 2 mm, tal como, por ejemplo, 0,5 mm a 1,5 mm y aproximadamente 1 mm. Sin querer quedar ligado a ninguna teoría en particular, el recubrimiento superficial puede reducir la pérdida térmica de la pieza de trabajo de aleación y/o aumentar el deslizamiento de la pieza de trabajo respecto al troquel u otras superficies de contacto durante el trabajo en caliente. El recubrimiento superficial puede actuar como una barrera térmica a la pérdida térmica de la pieza de trabajo a través de convección, conducción y/o radiación. En determinadas realizaciones no limitantes, el recubrimiento superficial puede reducir la fricción superficial de la pieza de trabajo de aleación y actuar como un lubricante, aumentando de este modo el deslizamiento de la pieza de trabajo durante una operación de trabajo en caliente, por ejemplo, forjado y extrusión. En determinadas realizaciones no limitantes, el material inorgánico puede depositarse a un espesor suficiente para lubricar la pieza de trabajo durante operaciones de trabajo en caliente.

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 craqueo térmico puede comprender generalmente enfriar la pieza de trabajo que incluye el recubrimiento superficial. Enfriar la pieza de trabajo puede comprender enfriar el recubrimiento superficial. En determinadas realizaciones no limitantes, enfriar la pieza de trabajo puede comprender enfriar por aire la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, enfriar la pieza de trabajo puede comprender disponer una manta de cerámica, tal como, por ejemplo, una manta KAOWOOL, sobre al menos un recubrimiento superficial y al menos una parte de una superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, la superficie de la pieza de trabajo puede enfriarse a temperatura ambiente.

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 craqueo térmico puede comprender generalmente retirar al menos uno de al menos una parte del recubrimiento superficial y/o restos del recubrimiento superficial de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, el método puede comprender, tras el trabajo en caliente, retirar al menos uno de una parte del recubrimiento superficial y/o restos del recubrimiento superficial del producto formado por el trabajo en caliente la pieza de trabajo. Retirar el recubrimiento superficial o restos puede comprender, por ejemplo, uno o más de chorreo con granalla, trituración, peladura y torneado. En determinadas realizaciones no limitantes, pelar la pieza de trabajo trabajada en caliente puede comprender el torneado de virutas.

Después de la formación de la pieza de trabajo inicial, pero antes de depositar el material inorgánico y/o posteriormente al trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación, un método no limitante de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir craqueo térmico puede comprender generalmente calentar la pieza de trabajo y/o acabar la superficie de la pieza de trabajo. En determinadas realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo de aleación puede exponerse a altas temperaturas para homogeneizar la composición de aleación y microestructura de la pieza de trabajo. Las altas temperaturas pueden estar por encima de la temperatura de recristalización de la aleación pero por debajo del punto de temperatura de fusión de la aleación. Por ejemplo, se puede calentar la pieza de trabajo a una temperatura de forjado, el material inorgánico puede depositarse sobre el mismo y la pieza de trabajo puede volverse a calentar para formar un recubrimiento superficial sobre la misma. La pieza de trabajo puede calentarse antes de depositar el material inorgánico para reducir el tiempo de horneado necesario para llevar la pieza de trabajo a temperatura. Una pieza de trabajo de aleación puede acabarse superficialmente, por ejemplo, triturando y/o pelando la superficie de la pieza de trabajo. Una pieza de trabajo también puede lijarse y/o pulirse. Las operaciones de acabado superficial pueden realizarse antes y/o después de cualquier paso de tratamiento opcional, tal como, por ejemplo, homogeneización a elevadas temperaturas.

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 craqueo térmico puede comprender generalmente el trabajo en caliente la pieza de trabajo. El trabajo en caliente de la pieza de trabajo puede comprender aplicar una fuerza a la pieza de trabajo para deformar la pieza de trabajo. La fuerza puede aplicarse con, por ejemplo, troqueles y/o rodillos. En determinadas realizaciones no limitantes, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo puede comprender el trabajo en caliente de la pieza de trabajo a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F. En determinadas realizaciones no limitantes, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo puede comprender una operación de forjado y/o una operación de extrusión. Por ejemplo, una pieza de trabajo que tiene un recubrimiento superficial depositado sobre al menos una región de una superficie de la pieza de trabajo puede forjarse por recaladura y/o forjarse por extracción. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender después de formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo mediante forjado. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender después de formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo mediante forjado a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender después de formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo mediante extrusión. En diversas realizaciones no limitantes, el método puede comprender después de formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo, el trabajo en caliente de la pieza de trabajo mediante extrusión a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F.

Una operación de forjado por recaladura y por extracción puede comprender uno o más secuencias de una operación de forjado por recaladura y uno o más secuencias de una operación de forjado por extracción. Durante una operación de recaladura, las superficies de extremo de una pieza de trabajo pueden estar en contacto con troqueles de forjado 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 extracción, las superficies laterales (por ejemplo, la superficie circunferencial de una pieza de trabajo cilíndrica) puede estar en contacto con troqueles de forjado que aplican fuerza a la pieza de trabajo que comprime la sección transversal de la pieza de trabajo y aumenta la longitud de la pieza de trabajo.

En diversas realizaciones no limitantes, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación que tiene un recubrimiento superficial depositado sobre al menos una región de una superficie de la pieza de trabajo puede someterse a una o más operaciones de forjado por recaladura y por extracción. Por ejemplo, en una operación tripe de forjado de recaladura y extracción, una pieza de trabajo puede primero forjarse por recaladura y a continuación forjarse por extracción. La secuencia de recaladura y extracción puede repetirse dos veces más por un total de tres operaciones secuenciales de recaladura y extracción. En diversas realizaciones no limitantes, una pieza de trabajo que tiene un recubrimiento superficial depositado sobre al menos una región de una superficie de la pieza de trabajo puede someterse a una o más operaciones de extrusión. Por ejemplo, en una operación de extrusión, puede forzarse una pieza de trabajo cilíndrica a través de un troquel circular, disminuyendo de este modo el diámetro y aumentando la longitud de la pieza de trabajo. Otras técnicas de trabajo en caliente serán evidentes para aquellos expertos en la materia y los métodos de acuerdo con la presente divulgación pueden adaptarse al uso con una o más de tales otras técnicas sin la necesidad de una experimentación indebida.

En diversas realizaciones no limitantes, los métodos desvelados en el presente documento pueden usarse para producir un lingote de sección cuadrada forjado a partir de un lingote de aleación sobre la forma de un lingote formado por colada, por pulverización o consolidado. La conversión de forjado o conversión de extrusión de un lingote a un lingote de sección cuadrada u otro artículo trabajado puede producir una estructura de grano más fino en el artículo en comparación a la anterior pieza de trabajo. Los métodos y procesos descritos en el presente documento pueden mejorar el rendimiento de productos forjados o extruidos (tales como, por ejemplo, lingotes de sección cuadrada) a partir de piezas de trabajo ya que el recubrimiento superficial puede reducir la incidencia de la fisura superficial de la pieza de trabajo durante las operaciones de forjado y/o extrusión. Por ejemplo, se ha observado que un recubrimiento superficial de acuerdo con la presente divulgación proporcionado sobre al menos una región de una superficie de una pieza de trabajo puede tolerar más fácilmente la tensión inducida por los troqueles de trabajo. También se ha observado que un recubrimiento superficial de acuerdo con la presente divulgación proporcionado sobre al menos una parte de una superficie de una pieza de trabajo de aleación también puede tolerar más fácilmente la temperatura diferencial entre los troqueles de trabajo y la pieza de trabajo durante el trabajo en caliente. De esta manera, se ha observado que un recubrimiento superficial de acuerdo con la presente divulgación puede mostrar cero o menos craqueo superficial mientras que la iniciación de craqueo superficial se evita o reduce en la pieza de trabajo subyacente durante el trabajo.

En diversas realizaciones no limitantes, el lingote u otras piezas de trabajo de diversas aleaciones que tiene un recubrimiento superficial de acuerdo con la presente divulgación puede trabajarse en caliente para formar productos que pueden usarse para fabricar diversos artículos. Por ejemplo, los procesos descritos en el presente documento pueden usarse para formar lingotes de sección cuadrada a partir de una aleación a base de níquel, una aleación a base de hierro, una aleación a base de níquel-hierro, una aleación a base de titanio, unan aleación a base de titanio-níquel, una aleación a base de cobalto, una superaleación a base de níquel y otras superaleaciones. Los lingotes de sección cuadrada formados a partir de lingotes trabajados en caliente y otras piezas de trabajo pueden usarse para fabricar artículos que incluyen, pero sin limitación, componentes de turbina, tal como, por ejemplo, discos y anillos para motores de turbina y diversas turbinas terrestres. Otros artículos fabricados a partir de lingotes de aleación u

otras piezas de trabajo de aleación procesadas de acuerdo con varias realizaciones no limitantes descritas en el presente documento pueden incluir, pero sin limitarse a, válvulas, componentes de motores, ástiles y sujetadores.

Las piezas de trabajo de aleación que pueden procesarse de acuerdo con las diversas realizaciones del presente documento pueden ser en cualquier forma adecuada. En realizaciones no limitantes particulares, por ejemplo, las piezas de trabajo de aleación pueden comprender o estar en la forma de lingotes, lingotes de sección cuadrada, barras, placas, tubos, preformas sinterizadas o similares.

Las diversas realizaciones no limitantes descritas en el presente documento pueden entenderse mejor cuando se leen junto con los siguientes ejemplos representativos. Los siguientes ejemplos se incluyen con fines ilustrativos y no como limitación.

Los ejemplos 1 y 2 describen ejemplos de acuerdo con la invención y ejemplos comparativos.

Ejemplo 1

En referencia a las FIG. 2-8, en determinadas realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, la pieza de trabajo de aleación puede comprender un lingote de aleación cilíndrico. Dos piezas de trabajo generalmente cilíndricas en forma de lingotes que tienen una longitud de 103/8 pulgadas y una anchura de 6 pulgadas, como se muestra generalmente en la FIG. 2, se trataron en caliente a 2100 °F. durante 3 horas. Cada pieza de trabajo se enrolló en una manta de cerámica KAOWOOL y se dejó enfriar. Se retiró la manta de cerámico KAOWOOL. Una pieza de trabajo se enrolló en una doble capa de una manta de vidrio E, tal como se muestra en la FIG. 3. La manta de vidrio E se aseguró a la pieza de trabajo usando un alambre para embalar. se cepilló una suspensión inorgánica que comprendía material ATP-610 (comercializado por Advanced Technical Products, Cincinnati, OH) sobre la superficie externa de la manta. La segunda pieza de trabajo no se recubrió con ningún material. Cada una de las dos piezas de trabajo se colocó en un horno a 2040 ºF durante aproximadamente 17 horas. Cada pieza de trabajo se forjó a continuación a temperatura con respecto a una pieza de trabajo con una sección transversal de 5 pulgadas por 4,5 pulgadas. La FIG. 4 es una fotografía de la pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial durante el forjado.

La FIG. 5 traza la temperatura superficial de una pieza de trabajo durante el tiempo durante el forjado de piezas de trabajo recubiertas y no recubiertas. Como se muestra en la Figura 5, la temperatura superficial de la pieza de trabajo recubierta ("Envuelta") durante el forjado fue generalmente de aproximadamente 50 ºC más elevada que para la pieza de trabajo no recubierta ("No envuelta"). La temperatura superficial se midió usando un pirómetro por infrarrojos. Las FIG. 6 y 7 son fotografías de la pieza de trabajo recubierta y forjada (a la izquierda de ambas imágenes) y la pieza de trabajo no recubierta y forjada (a la derecha de ambas fotografías). En la FIG. 6, hay visibles restos solidificados del recubrimiento superficial sobre la superficie de la pieza de trabajo recubierta. Mientras que la FIG. 7 muestra la pieza de trabajo recubierta después de que los restos del recubrimiento se han retirado mediante chorreo por granalla. La consideración delas FIG. 6 y 7 muestra que a pesar de que las piezas de trabajo recubiertas y forjadas muestran alguna fisura, la incidencia de severidad de craqueo era significativamente inferior que el de la pieza de trabajo no recubierta y forjada. El craqueo sobre la pieza de trabajo recubierta y forjada se produjo cuando la manta de vidrio E se aseguró a la pieza de trabajo mediante un alambre para embalar, y se cree que el alambre para embalar podría haber aplicado tensión a la pieza de trabajo cuando se aplicó la fuerza de forjado, lo que podría haber llevado a la formación de fisuras. La mayor sensibilidad al craqueo de la pieza de trabajo forjada que carece del recubrimiento superficial es visible sobre la superficie.

Ejemplo 2

La FIG. 8 es un gráfico que traza la temperatura a lo largo del tiempo durante el enfriamiento de piezas de trabajo de lingotes de 6 pulgadas de diámetro y Aleación 718 durante una operación de forjado. Cada pieza de trabajo se dejó enfriar a aire ambiente. Cada temperatura de la pieza de trabajo se midió usando termopares incorporados. La temperatura se evaluó en las siguientes posiciones sobre cada pieza de trabajo: sobre la superficie del centro de la pieza de trabajo; 0,5 pulgadas por debajo de la superficie sobre una región izquierda de la pieza de trabajo; 0,5 pulgadas por debajo de la superficie sobre una región derecha de la pieza de trabajo. Una primera de estas tres piezas de trabajo se envolvió en una manta de vidrio E asegurada a la pieza de trabajo usando un alambre para embalar. se cepilló una suspensión inorgánica que comprendía material ATP-790 (comercializado por Advanced Technical Products, Cincinnati, OH) sobre la superficie externa de la manta de vidrio E. Una parte de la superficie de una segunda pieza de trabajo se envolvió en una manta de vidrio E y una manta de cerámica KAOWOOL de 1 pulgada de espesor. La tercera pieza se dejó al descubierto. Las piezas de trabajo se calentaron a una temperatura de forjado y la manta de vidrio E/ suspensión inorgánica y la manta de vidrio E/ manta KAOWOOL sobre la primera y segunda pieza de trabajo, respectivamente, formaron un recubrimiento superficial sobre las piezas de trabajo que se adhirieron a las superficies de las piezas de trabajo.

Como se muestra en la Figura 8, la presencia de recubrimientos superficiales disminuyó significativamente las velocidades de enfriamiento de las piezas de trabajo recubiertas. Se cree que disminuir la velocidad de enfriamiento puede reducir la incidencia de craqueo superficial en la pieza de trabajo durante el forjado, extrusión u otras

operaciones de trabajo en caliente. La pieza de trabajo sin un recubrimiento superficial se enfrío significativamente más rápido que las piezas de trabajo que comprendían un recubrimiento superficial. La pieza de trabajo sin recubrimiento se enfrío de la temperatura de forjado (aprox. 1950 ºF) hasta 300 ºF a 600 ºF (dependiendo de la ubicación de la medición de temperatura) durante un periodo de menos de 3 horas. La FIG. 9 es una fotografía de la pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial de la manta de vidrio E/KAOWOOL. La pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial de la manta de vidrio E/suspensión inorgánica ATP-790 se enfrió más rápidamente que la pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial de la manta de vidrio E/manta de cerámica. La pieza de trabajo que comprende la superficie de la manta de vidrio E/suspensión inorgánica ATP-790 se enfrió desde la temperatura de forjado hasta 400 ºF a 600 ºF (dependiendo de la ubicación de la medición de temperatura) durante un periodo de aproximadamente de 5 a 6 horas. La pieza de trabajo que comprende el recubrimiento superficial de la manta de vidrio E/manta de cerámica se enfrió desde la temperatura de forjado hasta 400 ºF a 600 ºF durante un periodo de tiempo que excedió las 12 horas.

Ejemplo 3

Una pieza de trabajo de aleación en la forma de un lingote no recubierto generalmente cilíndrico de aleación 718Plus® (UNS No. N07818) se forjó en caliente desde un diámetro de 20 pulgadas hasta un diámetro de 14 pulgadas. La pieza de trabajo desarrolló amplias fisuras superficiales durante la operación de forjado. La pieza de trabajo forjada se torneó a un diámetro de 12 pulgadas para retirar las fisuras superficiales. La pieza de trabajo torneada se forjó a continuación desde 12 pulgadas a 10 pulgadas y un extremo de la pieza de trabajo se craqueó ampliamente durante el forjado. A continuación, la pieza de trabajo se acabó superficialmente mediante chorreo de granalla y un primer extremo de la pieza de trabajo se forjó en caliente de 10 pulgadas a 6 pulgadas. Se envolvió alrededor una manta de vidrio E y se aseguró al segundo extremo de la pieza de trabajo forjada, y se colocó la pieza de trabajo en un horno a una temperatura de 1950 ºF y se calentó. La manta de vidrio E formó un recubrimiento superficial sobre el segundo extremo cuando se calentó. La FIG. 10 es una fotografía de la pieza de trabajo parcialmente forjada y parcialmente recubierta después de que se retirara la pieza de trabajo del horno. El extremo que comprende el recubrimiento superficial se forjó de 12 pulgadas hasta 6 pulgadas, se dejó enfriar y a continuación se sometió a chorreo de granalla para retirar el recubrimiento superficial. El recubrimiento superficial se adhirió a la superficie del segundo extremo de la pieza de trabajo durante la operación de forjado, reduciendo la pérdida térmica del segundo extremo. La FIG. 11 es una fotografía que muestra el extremo sin recubrir forjado de la pieza de trabajo (fotografía izquierda) y el extremo recubierto y forjado de la pieza de trabajo (fotografía derecha) después del chorreo de granalla. Los puntos negros sobre la superficie de la pieza de trabajo recubierta forjada después del chorreo por granalla son restos del recubrimiento superficial. La significante incidencia de craqueo superficial resultante del forjado es evidente en la fotografía de la pieza de trabajo no recubierta y forjada en la FIG. 11. Por el contrario, la reducción significante en la incidencia de craqueo (es decir, la sensibilidad al craqueo significativamente reducido) de la pieza de trabajo recubierta es evidente a partir de la fotografía de la pieza de trabajo recubierta y forjada en la FIG. 11. De este modo, se cree que el recubrimiento inorgánico redujo significativamente la incidencia de craqueo superficial en la pieza de trabajo durante el forjado.

Ejemplo 4

Una pieza de trabajo de aleación en la forma de un lingote de aleación (UNS No. R56400) de titanio Ti-6Al-4V generalmente cilíndrico de 1,5 pulgadas de diámetro se calentó en un horno a una temperatura de 1500 ºF durante 1,5 horas. La pieza de trabajo se envolvió en partículas de vidrio que comprenden material Oxylub-327 (comercializado por Advance Technical Products, Cincinnati, OH), que tiene un intervalo de trabajo en caliente de metales de 1400-1850 °F. La pieza de trabajo se colocó a continuación en el horno por 30 minutos adicionales, y las partículas de vidrio formaron un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo durante la operación de calentamiento. La pieza de trabajo recubierta se forjó a continuación tres veces en tres direcciones independientes. La FIG. 12 es una fotografía de la pieza de trabajo después del forjado, y la superficie adherente es evidente en la fotografía. El recubrimiento superficial se adhirió a la superficie de la pieza de trabajo durante la operación de forjado y redujo la pérdida térmica de la pieza de trabajo.

REIVINDICACIONES

1. Un método de procesamiento de una pieza de trabajo de aleación que comprende:

disponer un tejido de vidrio directamente sobre al menos una parte de una superficie de una pieza de trabajo de aleación;
depositar partículas de vidrio sobre al menos una parte del tejido de vidrio;
calentar el tejido de vidrio y las partículas de vidrio para formar un recubrimiento superficial de vidrio fundido sobre la pieza de trabajo de aleación; y
trabajar en caliente la pieza de trabajo de aleación con al menos uno
de un troquel y un rodillo, en donde el troquel o el rodillo entran en contacto con el recubrimiento superficial de vidrio fundido sobre la pieza de trabajo de aleación.

2. El método de la reivindicación 1, que adicionalmente comprende, antes de depositar las partículas de vidrio, calentar la pieza de trabajo de aleación a una temperatura predeterminada.

3. El método de la reivindicación 1, que adicionalmente comprende, antes de disponer el tejido de vidrio, calentar la pieza de trabajo de aleación a una temperatura predeterminada.

4. El método de la reivindicación 1, en el que depositar las partículas de vidrio comprende al menos uno de pulverización, cepillado, recubrimiento por flujo, aspersión, laminado e inmersión.

5. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente posicionar una manta de cerámica sobre el tejido de vidrio y las partículas de vidrio.

6. El método de la reivindicación 1, que comprende calentar el tejido de vidrio y las partículas de vidrio a una temperatura en el intervalo de 500 °F a 2500 °F (260 °C a 1371 °C) para formar un recubrimiento superficial de vidrio fundido sobre la pieza de trabajo de aleación.

7. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación se trabaja en caliente a una temperatura en el intervalo de 1500 °F a 2500 °F (816 °C a 1371 °C).

8. El método de la reivindicación 1, en el que el trabajo en caliente comprende forjar la pieza de trabajo a una temperatura en el intervalo de 1500 °F a 2500 °F (816 °C a 1371 °C).

9. El método de la reivindicación 1, en el que el trabajo en caliente comprende extrusionar en caliente la pieza de trabajo a una temperatura en el intervalo de 1500 °F a 2500 °F (816 °C a 1371 °C).

10. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente retirar al menos una parte del recubrimiento superficial después del trabajo en caliente.

11. El método de la reivindicación 1, que comprende adicionalmente realizar al menos uno de chorreo por granalla, trituración, peladura y torneado de la pieza de trabajo de aleación después del trabajo en caliente.

12. El método de la reivindicación 1, en el que el tejido de vidrio comprende una manta de fibra de vidrio.

13. El método de la reivindicación 1, en el que el tejido de vidrio comprende una cinta de vidrio.

14. El método de la reivindicación 1, en el que las partículas de vidrio comprenden una suspensión de partículas de vidrio.

15. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado a partir del grupo que comprende una aleación a base de níquel, una superaleación a base de níquel, una aleación a base de hierro, una aleación a base de níquel-hierro, una aleación a base de titanio, una aleación a base de titanio-níquel y una aleación a base de cobalto.

16. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende uno de un lingote, un lingote de sección cuadrada, una barra, una placa, un tubo y una preforma sinterizada.

17. El método de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un lingote de superaleación a base de níquel.

FIG. 1

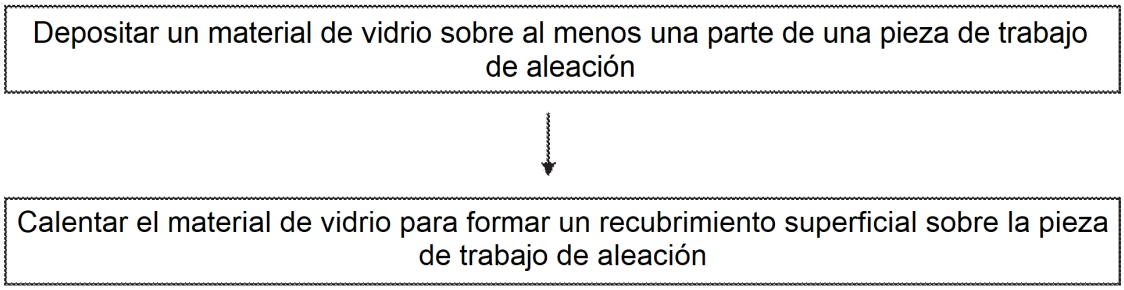

Depositar un material de vidrio sobre al menos una parte de una pieza de trabajo de aleación
Calentar el material de vidrio para formar un recubrimiento superficial sobre la pieza de trabajo de aleación

FIG. 2

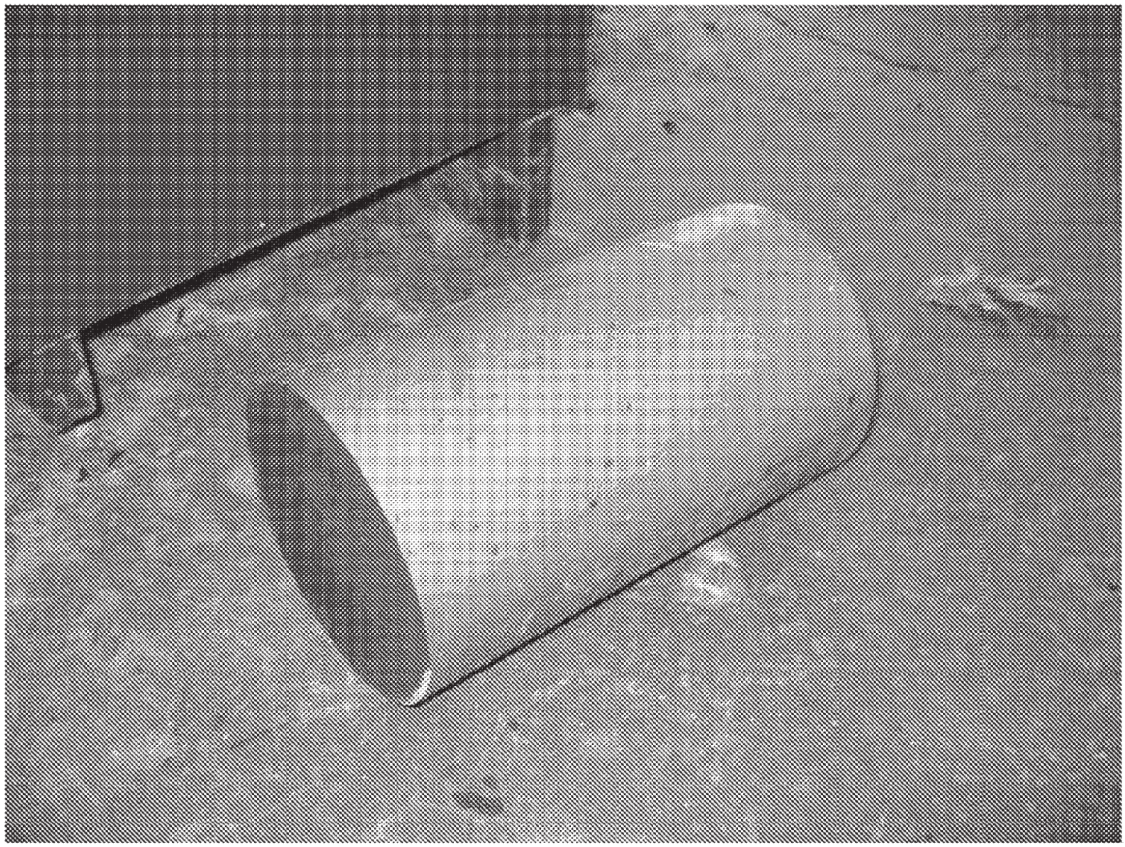


FIG. 3

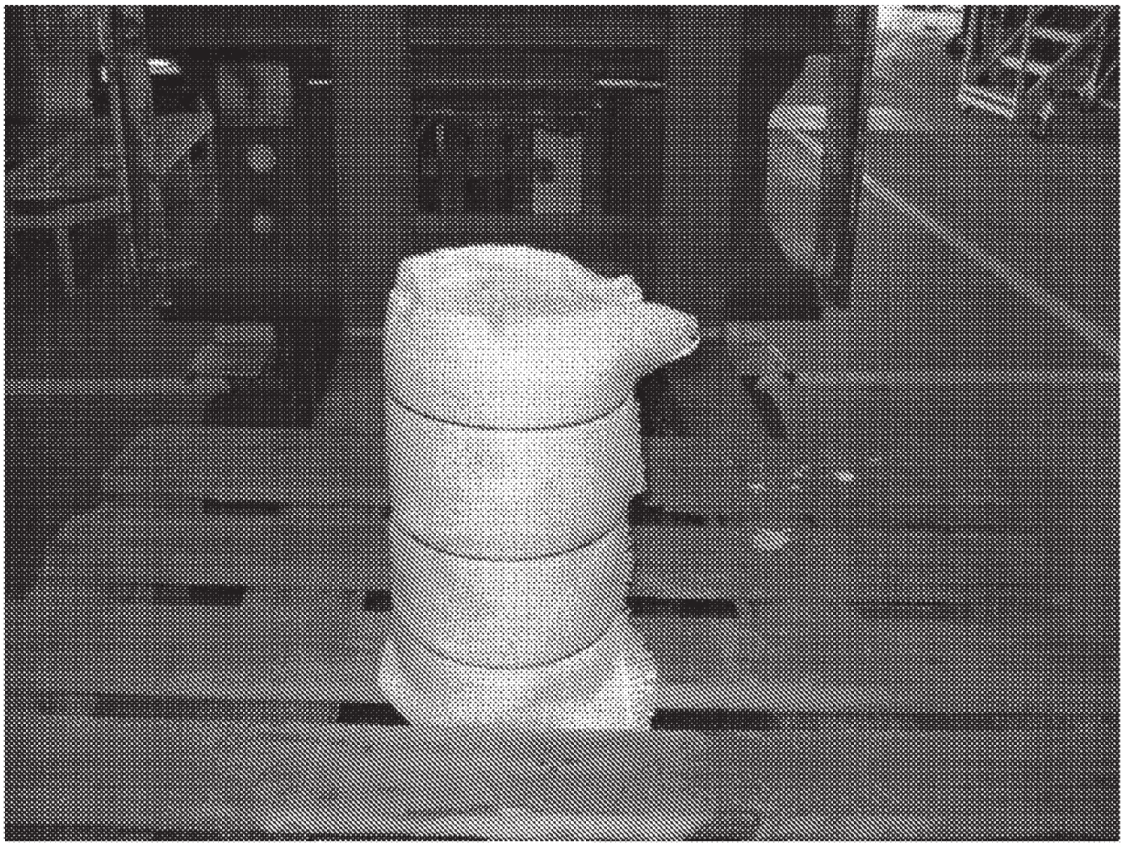
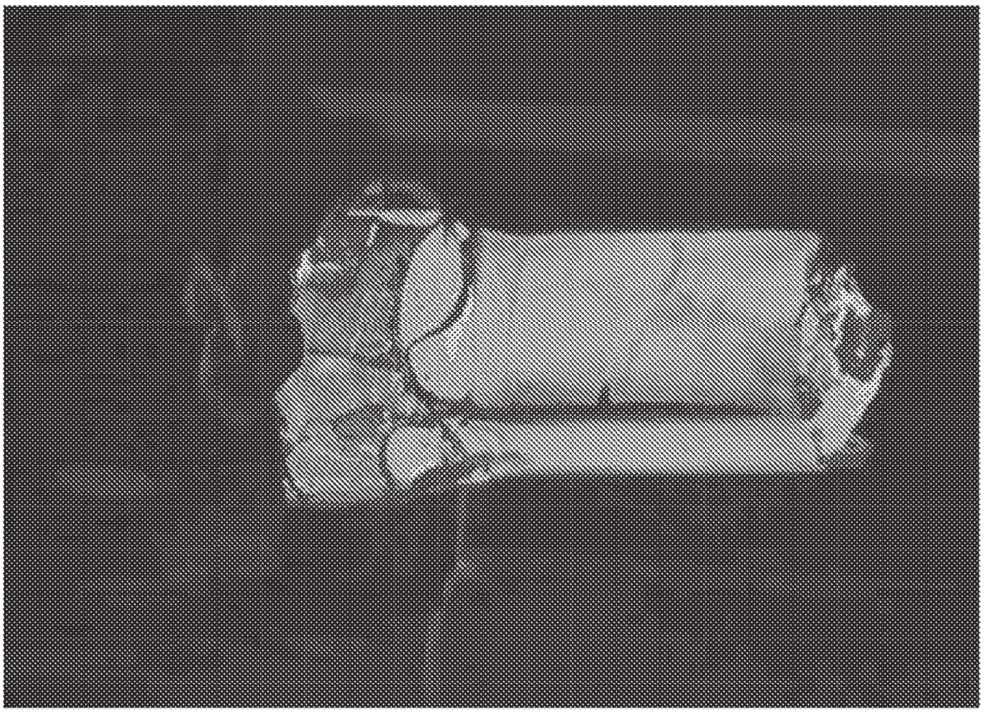


FIG. 4



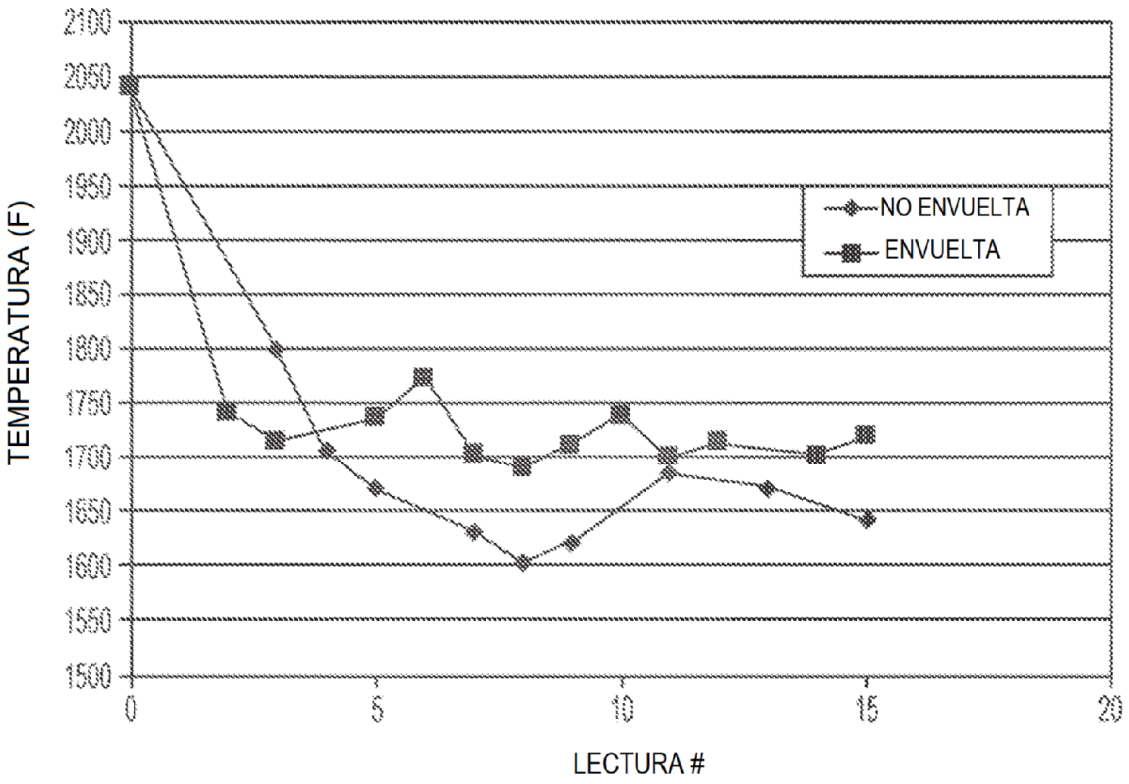
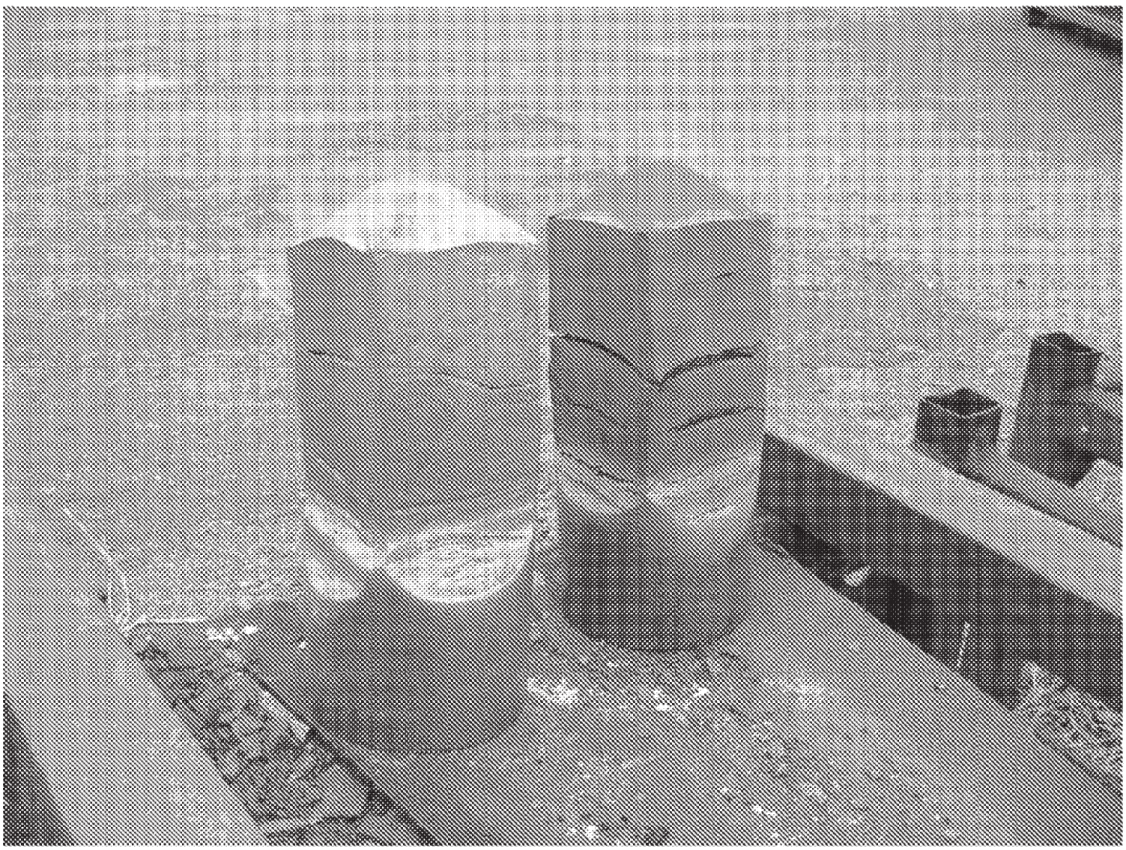

2100
2050
2000
1950
1900
1850
1800
1750
1700
1650
1600
1550
1500
TEMPERATURA (F)
0
5
10
15
20
LECTURA #
NO ENVUELTA
ENVUELTA

FIG. 5

FIG. 6

FIG. 7



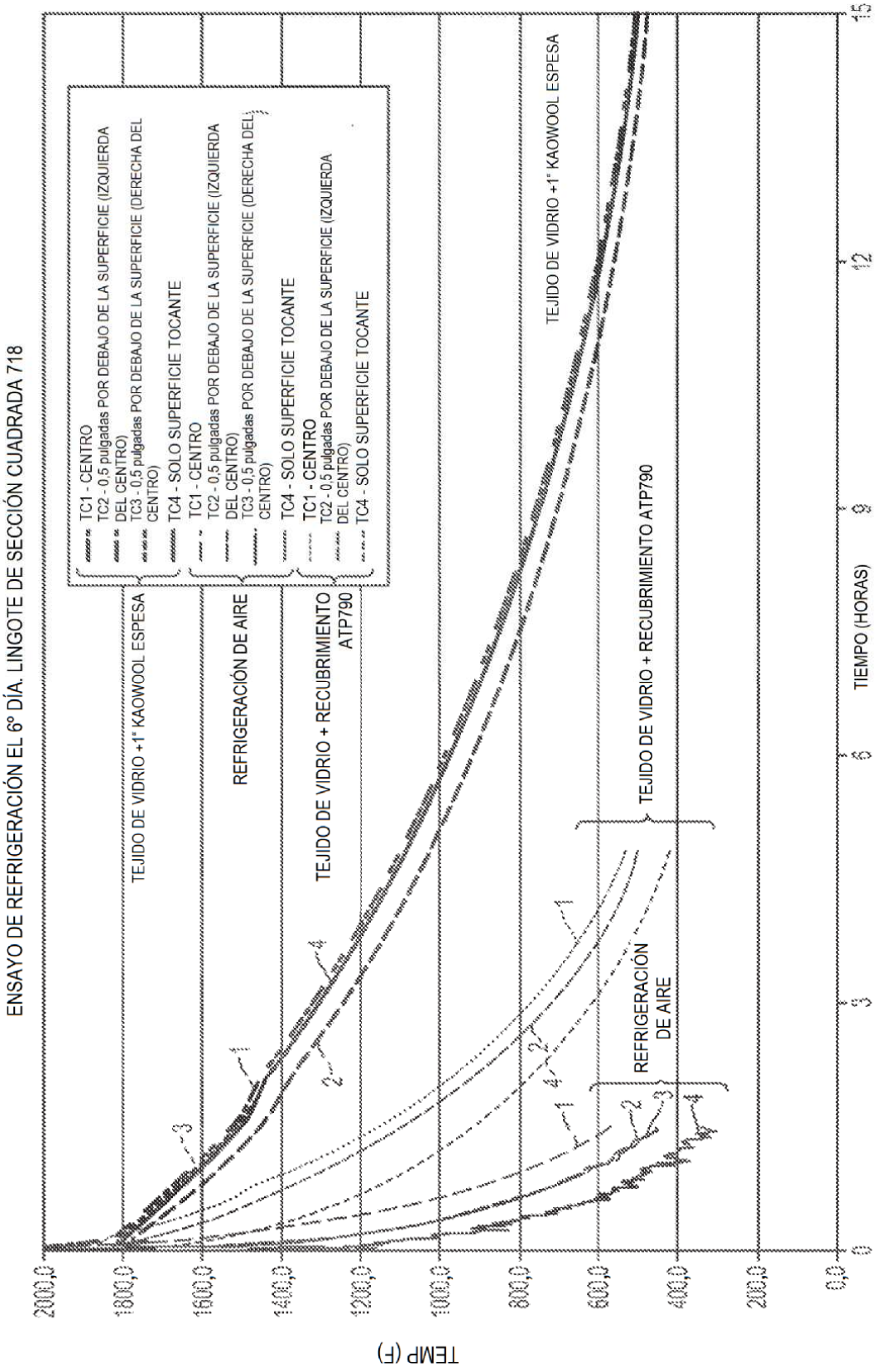

ENSAYO DE REFRIGERACIÓN EL 6º DÍA. LINGOTE DE SECCIÓN CUADRADA 718
TC1 - CENTRO
TC2 - 0,5 pulgadas POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE (IZQUIERDA DEL CENTRO)
TC3 - 0,5 pulgadas POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE (DERECHA DEL CENTRO)
TC4 - SOLO SUPERFICIE TOCANTE
TC1 - CENTRO
TC2 - 0,5 pulgadas POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE (IZQUIERDA DEL CENTRO)
TC3 - 0,5 pulgadas POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE (DERECHA DEL CENTRO)
TC4 - SOLO SUPERFICIE TOCANTE
TC1 - CENTRO
TC2 - 0,5 pulgadas POR DEBAJO DE LA SUPERFICIE (IZQUIERDA DEL CENTRO)
TC4 - SOLO SUPERFICIE TOCANTE
TEJIDO DE VIDRIO +1" KAOWOOL ESPESA
REFRIGERACIÓN DE AIRE
TEJIDO DE VIDRIO + RECUBRIMIENTO ATP790
TEJIDO DE VIDRIO +1" KAOWOOL ESPESA
TEJIDO DE VIDRIO + RECUBRIMIENTO ATP790
REFRIGERACIÓN DE AIRE
TIEMPO (HORAS)
TEMP (F)
2000,0
1800,0
1600,0
1400,0
1200,0
1000,0
800,0
600,0
400,0
200,0
0,0
0
3
6
9
12
15

FIG. 8

FIG. 9

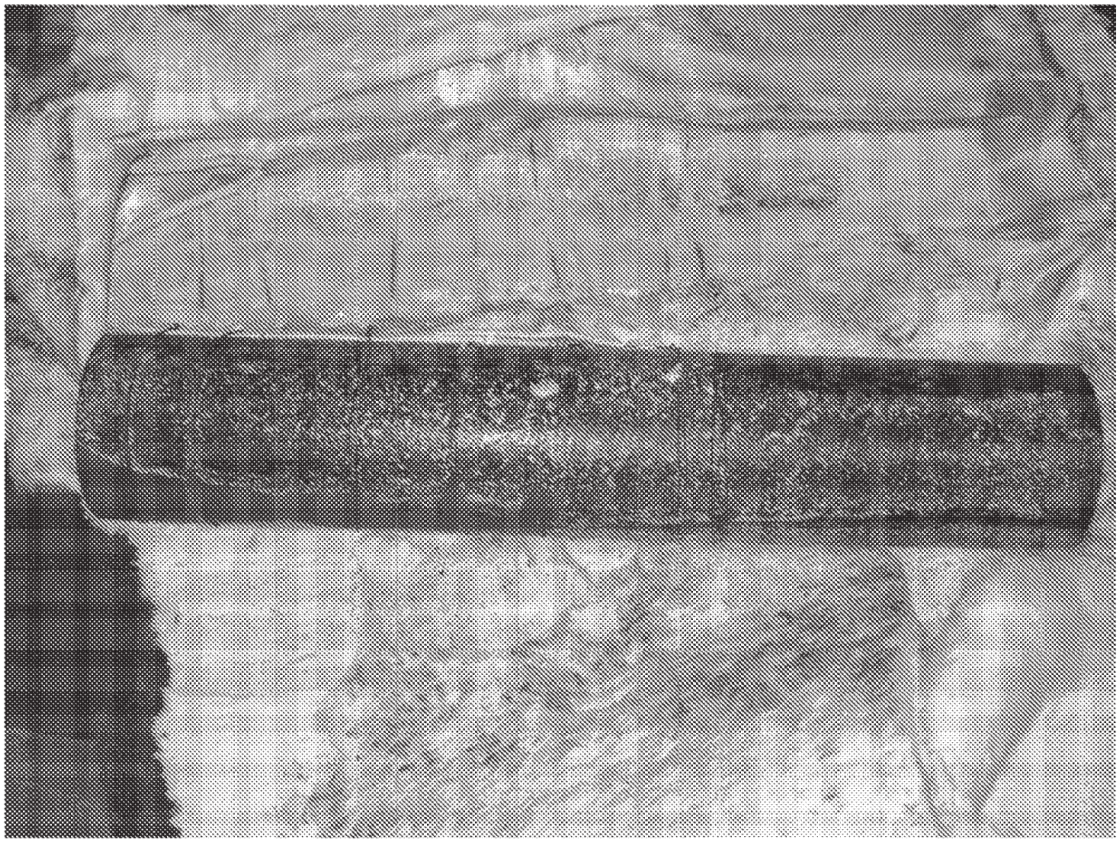


FIG. 10

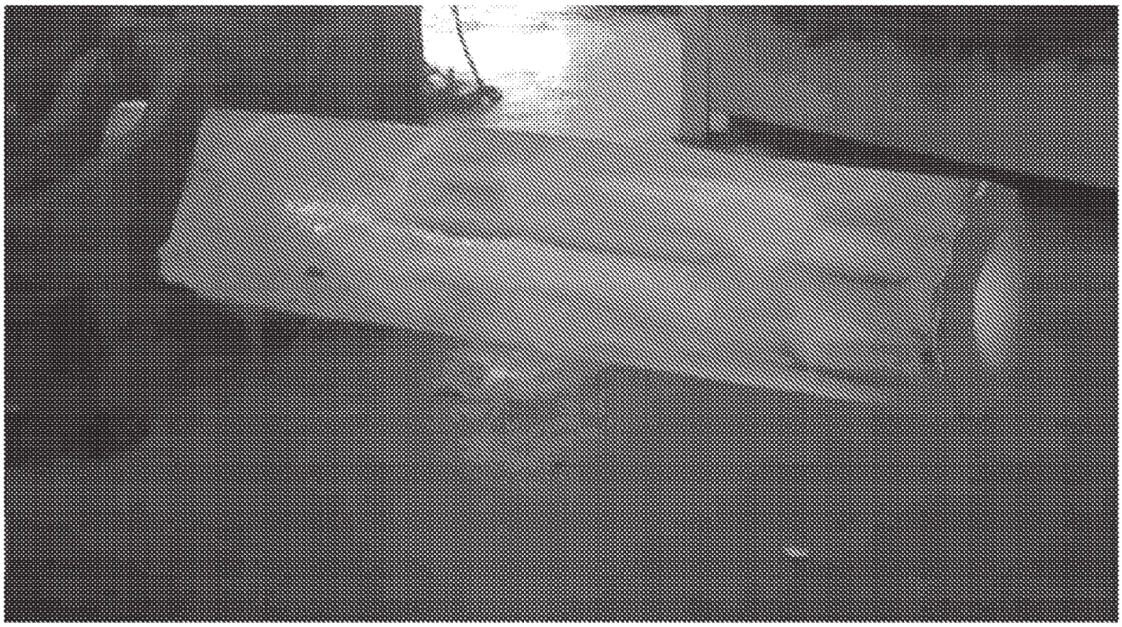


FIG. 11

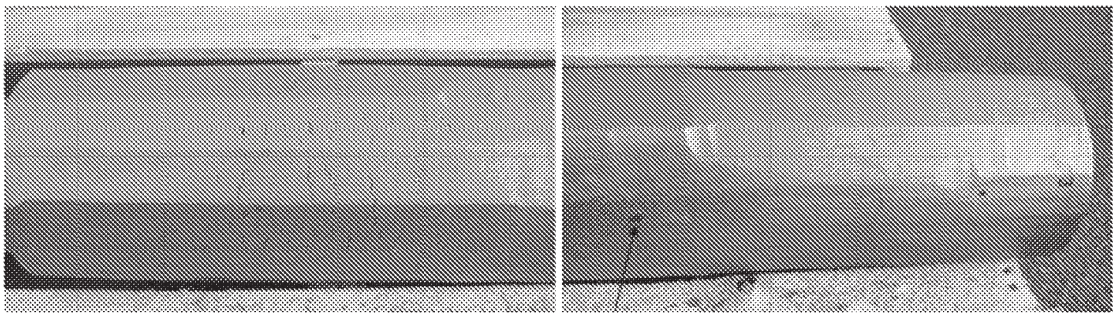


FIG. 12

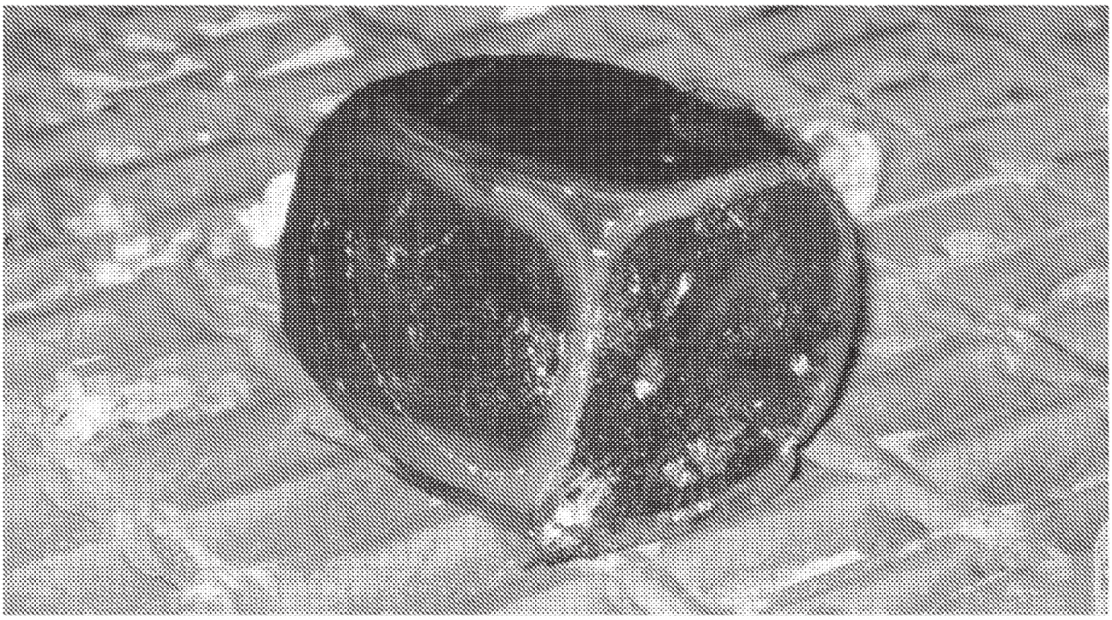


FIG. 13