

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 767 342**

51 Int. Cl.:

B21J 1/06 (2006.01)

B21J 3/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.03.2014 PCT/US2014/019781**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14149591**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2014 E 14712854 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **20.11.2019 EP 2969297**

54 Título: **Aleaciones de forjado que usan una plaqueta lubricante, termorresistente y reductora de fricción**

30 Prioridad:

15.03.2013 US 201313833043

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

17.06.2020

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**BANIK, ANTHONY;
MINISANDRAM, RAMESH S. y
O'BRIEN, CHRISTOPHER M.**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 767 342 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

Aleaciones de forjado que usan una plaqueta lubricante, termorresistente y reductora de fricción

5 Campo técnico

La presente divulgación se dirige a lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación. Más específicamente, la presente divulgación está dirigida a artículos, sistemas y métodos para procesar lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación (véase, por ejemplo, la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos N.º 2011/0302979).

Antecedentes

La "forja" se refiere al trabajo y/o a la conformación de un material en estado sólido por deformación plástica. La forja se distingue de las otras clasificaciones primarias de las operaciones de formación de material en estado sólido, es decir, mecanizado (conformación de una pieza de trabajo por corte, esmerilado o de otro modo eliminando material de la pieza de trabajo) y fundición (moldeo de material líquido que se solidifica para retener la forma de un molde). La "forjabilidad" es la capacidad relativa de un material para deformarse plásticamente sin fallar. La forjabilidad depende de una serie de factores que incluyen, por ejemplo, condiciones de forja (por ejemplo, temperatura de la pieza de trabajo, temperatura del troquel y velocidad de deformación) y características del material (por ejemplo, composición, microestructura y estructura de la superficie). Otro factor que afecta a la forjabilidad de una pieza de trabajo dada es la tribología de las superficies interactivas del troquel y las superficies de la pieza de trabajo. La interacción entre las superficies del troquel y las superficies de la pieza de trabajo en una operación de forjado implica transferencia de calor, fricción y desgaste. Como tal, el aislamiento térmico y/o la lubricación entre una pieza de trabajo y los troqueles de forja pueden influir en la forjabilidad.

Varias aleaciones pueden caracterizarse como que son "sensibles al agrietamiento". Los lingotes y otras piezas de trabajo compuestas de aleaciones sensibles al agrietamiento pueden formar grietas a lo largo de sus superficies y/o bordes durante las operaciones de forja o internamente si el material en la superficie y el interior se mueve a diferentes velocidades. La formación de artículos a partir de aleaciones sensibles al agrietamiento puede ser problemática debido a que, por ejemplo, las grietas formadas durante la forja u otras operaciones de trabajo en caliente pueden necesitar eliminarse del artículo trabajado, lo que aumenta el tiempo y el gasto de producción, al tiempo que reduce el rendimiento.

En la técnica se sabe que los lubricantes disminuyen la fricción durante las operaciones de forja. Una lubricación de forja inadecuada o inconsistente puede dar como resultado una deformación plástica no uniforme de la pieza de trabajo, que en general no es deseable. Por ejemplo, la deformación plástica no uniforme puede dar como resultado el "abarrilamiento" de la pieza de trabajo y/o la formación de huecos en la pieza de trabajo durante las operaciones de forja. Sin embargo, los lubricantes de forja anteriores pueden tener diversas deficiencias que resultan en un artículo forjado por debajo del convencional.

Dados los inconvenientes de las técnicas de forja actuales, sería ventajoso proporcionar un método más eficaz y/o más rentable de aleaciones de forja, especialmente aleaciones sensibles al agrietamiento. Además, sería ventajoso disminuir la fricción entre troqueles y piezas de trabajo durante las operaciones de forja. En términos más generales, sería ventajoso proporcionar un método mejorado para forjar lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación.

Sumario

La invención proporciona un sistema para forjar una pieza de trabajo de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. La invención proporciona además una plaqueta de múltiples capas para usar durante una operación de forjado de acuerdo con la reivindicación 9 de las reivindicaciones adjuntas. La invención proporciona además un método para procesar una pieza de trabajo de aleación de acuerdo con la reivindicación 16 de las reivindicaciones adjuntas. De acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas, se describen artículos, sistemas y métodos para procesar lingotes de aleación y otras piezas de trabajo de aleación.

La presente divulgación está dirigida a un sistema para forjar una pieza de trabajo de acuerdo con la reivindicación 1. En diversas realizaciones no limitativas, la primera capa comprende KOAWOOL y la segunda capa comprende fibra de vidrio.

La presente divulgación se dirige además a una plaqueta de múltiples capas para su uso durante una operación de forja, de acuerdo con la reivindicación 9. La primera capa lubricante puede comprender además una superficie de contacto con la pieza de trabajo, y la segunda capa de lubricante puede comprender además una superficie de contacto con el troquel. Al menos una de las capas lubricantes primera y segunda puede comprender fibra de vidrio, y la primera capa aislante puede comprender fibras cerámicas. El coeficiente de fricción de las capas lubricantes primera y segunda puede ser menor que el coeficiente de fricción de la primera capa aislante y/o la conductividad

térmica de la primera capa aislante puede ser menor que la conductividad térmica de las capas lubricantes primera y segunda. Una alternativa preferida de la reivindicación 9 es que la plaqueta de múltiples capas comprende un elemento de sujeción para sujetar al menos las capas lubricantes primera y segunda una en relación con otra. Además, en diversas realizaciones no limitativas, las capas lubricantes primera y segunda pueden formar un manguito en el que está dispuesta la capa aislante.

La presente divulgación está dirigida a un método para trabajar en caliente una pieza de trabajo de acuerdo con la reivindicación 16. El trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación puede comprender aplicar una fuerza con el troquel a la pieza de trabajo de aleación para deformar plásticamente la pieza de trabajo de aleación. La aplicación de una fuerza con el troquel a la pieza de trabajo de aleación para deformar plásticamente la pieza de trabajo de aleación puede comprender forjar por recalado la pieza de trabajo de aleación. El método puede comprender además situar una pluralidad de plaquetas de múltiples capas entre la pieza de trabajo de aleación y al menos un troquel, preformar la pieza de trabajo de aleación y/o fabricar un artículo a partir de la pieza de trabajo de aleación trabajada en caliente. La exposición de la pieza de trabajo a temperaturas por encima de la temperatura ambiente puede comprender calentar la pieza de trabajo de aleación a una temperatura por encima de la temperatura de recristalización de la aleación y por debajo de la temperatura del punto de fusión de la aleación.

De acuerdo con la presente divulgación, las piezas de trabajo de aleación pueden fabricarse o procesarse de acuerdo con cualquiera de los métodos de la presente divulgación.

De acuerdo con la presente divulgación, los artículos de fabricación pueden fabricarse de o incluir piezas de trabajo de aleación fabricadas 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 turbinas con base en tierra, válvulas, componentes de motores, árboles y elementos de sujeción.

Descripción de las figuras de dibujo

Las diversas realizaciones no limitativas descritas en el presente documento pueden entenderse mejor considerando la siguiente descripción junto con las figuras de dibujos adjuntas, en las que:

las figuras 1A-1C son diagramas esquemáticos en sección transversal que ilustran un método de forjado por recalado de troquel de impresión para formar un elemento de sujeción con cabezal;

la figura 2A es una vista en alzado de un elemento de sujeción con cabezal formado por el método de forjado por recalado de troquel de impresión representado en las figuras 1A- 1C;

la figura 2B es una vista detallada del cabezal del elemento de sujeción con cabezal de la figura 2A;

la figura 3A es un diagrama esquemático en sección transversal que ilustra un sistema de forjado por recalado de troquel abierto que opera en condiciones sin fricción;

la figura 3B es un diagrama esquemático en sección transversal que ilustra un sistema de forjado por recalado de troquel abierto que opera bajo condiciones de alta fricción;

las figuras 4A y 4B son diagramas esquemáticos de sección transversal que ilustran una operación de forjado por recalado de troquel abierto con una plaqueta de múltiples capas situada entre el troquel abierto y la pieza de trabajo, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 5 es un diagrama esquemático que ilustra un sistema de forjado por recalado de troquel de impresión con una plaqueta de múltiples capas situada entre el troquel de impresión y la pieza de trabajo, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 6A es una vista en alzado de un elemento de sujeción con cabezal formado por el sistema de forjado por recalado de troquel de impresión representado en la figura 5, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 6B es una vista detallada del cabezal del elemento de sujeción con cabezal de la figura 6A, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 7 es una vista en perspectiva de una plaqueta de múltiples capas para su uso en operaciones de forja, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 8 es una vista en alzado de la plaqueta de múltiples capas de la figura 7, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 9 es una vista en alzado en sección transversal de una plaqueta de múltiples capas para su uso en

operaciones de forja, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

la figura 10 es una vista en planta de la plaqueta de múltiples capas de la figura 9, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación;

5 la figura 11 es una vista en planta de una plaqueta de múltiples capas para su uso en operaciones de forja, que representa la plaqueta de múltiples capas en una configuración parcialmente ensamblada, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación; y

10 la figura 12 es una vista en planta de la plaqueta de múltiples capas de la figura 11, que representa la plaqueta de múltiples capas en una configuración ensamblada, de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas de la presente divulgación.

15 Descripción de ciertas realizaciones no limitativas

Como se usa en el presente documento, el término "trabajo en caliente" se refiere a la aplicación de una fuerza a una pieza de trabajo en estado sólido a cualquier temperatura mayor que la temperatura ambiente, en el que la fuerza aplicada se deforma plásticamente la pieza de trabajo.

20 Durante las operaciones de trabajo en caliente, tales como, por ejemplo, operaciones de forja y operaciones de extrusión, puede aplicarse una fuerza a un lingote de aleación o a otra pieza de trabajo de aleación a una mayor temperatura 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 un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación sometida a la operación de trabajo en caliente puede ser mayor que la temperatura de los troqueles u otras estructuras usadas para aplicar fuerza mecánicamente a las superficies de la pieza de trabajo. El lingote de aleación u otra 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 gradiente térmico desplazado entre sus superficies y los troqueles de contacto u otras estructuras. El gradiente térmico resultante desplazado entre las superficies de la pieza de trabajo de aleación y las partes interiores de la pieza de trabajo de aleación puede contribuir al agrietamiento del lingote a lo largo de sus superficies y/o bordes durante el trabajo en caliente. El agrietamiento de la superficie es especialmente problemático en situaciones en las que los lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación están formados por aleaciones sensibles al agrietamiento.

35 Diversas aleaciones pueden caracterizarse sensibles al agrietamiento. Las aleaciones sensibles al agrietamiento tienden a formar grietas durante las operaciones de trabajo. Los lingotes de aleación sensibles al agrietamiento, por ejemplo, pueden formar grietas durante las operaciones de trabajo en caliente usadas para producir artículos de aleación a partir de los lingotes de aleación sensibles al agrietamiento. Por ejemplo, los tochos de aleación pueden formarse a partir de lingotes de aleación usando conversión de forja. Pueden formarse otros artículos de aleación a partir de tochos de aleación o lingotes de aleación usando la extrusión u otras operaciones de trabajo. El rendimiento de producción de los artículos de aleación (por ejemplo, tochos de aleación) formados por lingotes de aleación sensibles al agrietamiento usando operaciones de trabajo en caliente puede ser bajo debido a la incidencia de grietas de la superficie de los lingotes de aleación durante el trabajo en caliente (por ejemplo, durante la forja o la extrusión). El rendimiento de producción puede reducirse por la necesidad de rectificar o de otro modo eliminar las grietas de la superficie de un lingote trabajado.

45 De acuerdo con diversas realizaciones no limitativas, diversas aleaciones con base de níquel, aleaciones con base de hierro, aleaciones con base de níquel-hierro, aleaciones con base de titanio, aleaciones con base de titanio-níquel, aleaciones con base de cobalto, y superaleaciones, tales como las superaleaciones con base de níquel, pueden ser sensibles al agrietamiento, especialmente durante las 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 agrietamiento. Por ejemplo, una pieza de trabajo de aleación sensible al agrietamiento puede formarse a partir de aleaciones o superaleaciones seleccionadas, pero no limitadas a, la Aleación 718 (UNS N.º N07718), la Aleación 720 (UNS N.º N07720), la Aleación Rene 41 (UNS N.º N07041), la Aleación 65, la Aleación Rene 88, la Aleación Waspaloy® (UNS N.º N07001) y la Aleación Inconel® 100.

55 Las figuras 1A - 1C representan un proceso de forja por recalado de trabajo en caliente en el que se calienta un elemento de sujeción. En diversas realizaciones no limitativas, un troquel de impresión 10 y un punzón 12 pueden usarse para la forja por recalado de una parte de una pieza de trabajo, tal como, por ejemplo, un alambre o una varilla metálica 20. El alambre 20 puede calentarse, por ejemplo, a una temperatura por encima de la temperatura ambiente mientras que el troquel 10 y/o el punzón 12 permanecen y/o por debajo de la temperatura ambiente. Haciendo referencia principalmente a la figura 1A, el alambre 20 puede mantenerse dentro del troquel 10 y puede extenderse dentro de una abertura o cavidad 16 en el troquel 10. En diversas realizaciones no limitativas, el punzón 12 puede moverse en una dirección "X" hacia el troquel 10. Por ejemplo, el punzón 12 puede moverse hacia la abertura 16 en el troquel 10 y entrar en contacto y ejercer una fuerza sobre el alambre 20. En diversas realizaciones no limitativas, la fuerza ejercida sobre el alambre 20 por el punzón 12 puede deformar el alambre 20 para formar un cabezal 22 (figura 1B). En otras palabras, el cabezal 22 puede formarse entre una superficie de contacto del punzón

12 y una superficie de contacto del troquel 10. Haciendo referencia principalmente a la figura 1C, el punzón 12 puede retirarse de la abertura 16 y el alambre 20 puede avanzar a través del troquel 10. En diversas realizaciones no limitativas, una cuchilla 14 puede cortar el alambre 20 de tal manera que el elemento de sujeción formado 24 (mostrado en la figura 2A) se libera del troquel de forja 10.

5 En diversas realizaciones no limitativas, el alambre 20 puede estar compuesto de una aleación sensible al agrietamiento. Por ejemplo, el alambre 20 puede fabricarse a partir de una aleación sensible al agrietamiento seleccionada de la aleación 718, la aleación 720, la aleación Rene 41, la aleación Rene 65, la aleación Rene 88, la aleación Waspaloy® y la aleación Inconel® 100. En tales realizaciones, el gradiente térmico desplazado entre el
10 alambre 20 y las superficies del troquel 10 y/o el punzón 12 que entra en contacto con el alambre 20 puede resultar en un agrietamiento a lo largo de las superficies y/o los bordes del elemento de sujeción formado 24. Haciendo referencia a las figuras 2A y 2B, un elemento de sujeción a modo de ejemplo 24 producido por el proceso de trabajo en caliente de forja por recalado representado en las figuras 1A - 1C, puede comprender diversas grietas a lo largo de las superficies forjadas del mismo. Por ejemplo, haciendo referencia principalmente a la figura 2B, la superficie 28 del cabezal de elemento de sujeción 26 puede comprender diversas grietas resultantes del desplazamiento del gradiente térmico durante la forja del cabezal 26. En ciertas realizaciones no limitativas, el elemento de sujeción 24 puede requerir un mecanizado posterior para eliminar el material agrietado de la superficie 28 del mismo.

20 Una técnica usada para reducir la formación de grietas en las superficies y los bordes de los lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación durante el trabajo en caliente es situar los lingotes de aleación en una lata de aleación antes del trabajo en caliente. Con las piezas de trabajo cilíndricas, por ejemplo, el diámetro interior de la lata de aleación es ligeramente mayor que el diámetro exterior de la pieza de trabajo de aleación, permitiendo de este modo la inserción de la pieza de trabajo en la lata. La lata rodea sin apretar la pieza de trabajo, proporcionando un espacio de aire entre las superficies interiores de la lata y la pieza de trabajo. Durante las operaciones de trabajo
25 en caliente, los troqueles entran en contacto con la lata exterior, y la lata aísla térmicamente la pieza de trabajo de aleación por acción de los espacios de aire y también inhibiendo directamente la pieza de trabajo de aleación de irradiar calor al medio ambiente. De esta manera, la lata puede aislar térmicamente y proteger mecánicamente las superficies de la pieza de trabajo, lo que puede reducir la incidencia de grietas en la superficie de la pieza de trabajo durante el trabajo.

30 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 y las superficies exteriores de la lata de aleación puede romper la lata. En un caso específico, durante la forja por recalado repetida de una pieza de trabajo enlatada, la aleación puede romperse entre las operaciones de forja. En tal caso, la pieza de trabajo de aleación puede necesitar
35 reenlatarse entre las operaciones de forja por recalado, lo que aumenta la complejidad y el gasto del proceso. En otro caso específico, durante la forja por recalado y estirado de una pieza de trabajo enlatada, la aleación puede romperse durante la operación de estirado. En tal caso, puede necesitarse que la pieza de trabajo de aleación se reenlate entre cada ciclo de recalado y estirado de una operación de forjado por recalado y estirado múltiple, lo que aumenta la complejidad y el gasto del proceso. Además, la aleación puede perjudicar que un operador
40 monitoree visualmente la superficie de una pieza de trabajo de aleación enlatada para detectar grietas y otros defectos inducidos por el trabajo.

45 Las siguientes patentes y solicitudes de patente de los Estados Unidos del mismo propietario que la presente, se refieren a diversos dispositivos y/o métodos para reducir la incidencia del agrietamiento superficial de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación durante el trabajo en caliente:

- La patente de Estados Unidos Núm. 8.230.899, titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR FORMING AND PROCESSING ALLOY INGOTS";
- 50 – La solicitud de patente de Estados Unidos N.º 12/700.963, titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR PROCESSING ALLOY INGOTS", publicada como la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos N.º 2011/0195270;
- La solicitud de patente de Estados Unidos N.º 13/007.692, titulada "HOT WORKABILITY OF METAL ALLOYS VIA SURFACE COATING", publicada como la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos N.º 2012/0183708; y
- 55 – La solicitud de patente de Estados Unidos N.º 13/533.142, titulada "SYSTEMS AND METHODS FOR FORMING AND PROCESSING ALLOY INGOTS", publicada como la publicación de solicitud de Patente de Estados Unidos N.º 2012/0279678.

60 En las operaciones de forja, la fricción de interfaz entre las superficies de piezas de trabajo y las superficies de troquel puede expresarse cuantitativamente como la tensión de cizallamiento por fricción. La tensión de cizallamiento por fricción (T) puede expresarse como una función de la tensión de flujo sólido del material deformante (σ) y el factor de fricción de cizallamiento (m) mediante la siguiente ecuación:

$$T = \frac{m}{\sqrt{3}} \sigma$$

El valor del factor de fricción de cizallamiento proporciona una medida cuantitativa de la lubricidad para un sistema de forja. Por ejemplo, el factor de fricción de cizallamiento puede variar de 0,6 a 1,0 cuando se forjan piezas de trabajo de aleación de titanio sin lubricantes, mientras que el factor de fricción de cizallamiento puede variar de 0,1 a 0,3 cuando se forjan piezas de trabajo de aleación de titanio con ciertos lubricantes fundidos. La lubricidad, cuantificada como el factor de fricción de cizallamiento (m) de un sistema, puede medirse usando una prueba de compresión de anillo en la que una muestra plana en forma de anillo se comprime a una reducción predeterminada en altura. La prueba de compresión de anillo se conoce por los expertos en la materia y, en general, se describen, por ejemplo, en Altan et al., Metal Forming: Fundamentals and Applications, cap. 6. "Friction in Metal Forming", ASM: 1993, que se incorpora en el presente documento como referencia.

Una lubricación de forja inadecuada, caracterizada, por ejemplo, por un valor relativamente alto del factor de fricción de cizallamiento para una operación de forjado, puede tener un número de efectos adversos. En la forja, el flujo de material en estado sólido está provocado por la fuerza transmitida desde los troqueles que deforman plásticamente la pieza de trabajo. Las condiciones de fricción en la interfaz de troquel/pieza de trabajo influyen en el flujo de metal, la formación de tensiones superficiales e internas dentro de la pieza de trabajo, las tensiones que actúan sobre los troqueles y la carga de presión y los requisitos de energía. Las figuras 3A y 3B ilustran ciertos efectos de fricción en relación con una operación de forjado por recalado de troquel abierto.

La figura 3A ilustra la forja por recalado de troquel abierto de una pieza de trabajo cilíndrica 20 en condiciones ideales sin fricción. La figura 3B ilustra la forja por recalado de troquel abierto de una pieza de trabajo cilíndrica 20 idéntica en condiciones de alta fricción. Los troqueles superiores 32 presionan las piezas de trabajo 20 desde su altura inicial (mostrada por líneas discontinuas) hasta una altura forjada H. La fuerza de recalado se aplica con igual magnitud y en dirección opuesta a las piezas de trabajo 20 por los troqueles superiores 32 y los troqueles inferiores 30. El material que forma las piezas de trabajo 20 es incompresible y, por lo tanto, los volúmenes de las piezas de trabajo iniciales 20 y las piezas de trabajo forjadas finales 20a y 20b mostradas en las figuras, 3A y 3B, respectivamente, son iguales. Bajo las condiciones sin fricción ilustradas en la figura 3A, la pieza de trabajo 20 se deforma uniformemente en las direcciones axial y radial. Esto se indica mediante el perfil lineal 24a de la pieza de trabajo forjada 20a. Bajo las condiciones de alta fricción ilustradas en la figura 3B, la pieza de trabajo 20 no se deforma uniformemente en las direcciones axial y radial. Esto se indica mediante el perfil curvo 24b de la pieza de trabajo forjada 20b.

De esta manera, la pieza de trabajo forjada 20b muestra un "abarrilamiento" bajo condiciones de alta fricción, mientras que la pieza de trabajo forjada 20a no presenta ningún abarrilamiento bajo condiciones de fricción bajas. El abarrilamiento y otros efectos de la deformación plástica no uniforme debido a la fricción de la interfaz de troquel/pieza de trabajo durante la forja son, en general, indeseables. Por ejemplo, en la forja de troquel de impresión, la fricción de la interfaz puede provocar la formación de espacios vacíos donde el material deformante no llena todas las cavidades en el troquel. Esto puede ser específicamente problemático en operaciones de forja próxima a la forma final o de forma final donde las piezas de trabajo se forjan dentro de tolerancias más estrictas. Las condiciones de alta fricción también pueden provocar un "bloqueo de troquel" en el que la pieza de trabajo se adhiere al o a los troqueles. El "bloqueo de troquel" puede ser específicamente indeseable en operaciones de forja que involucran una superficie de troquel contorneada en la que una pieza de trabajo situada descentrada puede bloquearse y no deformarse adecuadamente para tomar los contornos del troquel. Como resultado, pueden emplearse unos lubricantes de forja para reducir la fricción de interfaz entre las superficies del troquel y las superficies de la pieza de trabajo durante las operaciones de forja.

Las siguientes solicitudes de patente de los Estados Unidos del mismo propietario que la presente, se refieren a diversos dispositivos y/o métodos para disminuir el factor de cizallamiento para un sistema de forja, se incorporan en el presente documento como referencia en su totalidad respectiva:

- La solicitud de patente de Estados Unidos N.º 12/814.591, titulada "LUBRICATION PROCESSES FOR ENHANCED FORGEABILITY", publicada como la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos N.º 2011/0302978; y
- La solicitud de patente de Estados Unidos N.º 13/027.327, titulada "LUBRICATION PROCESSES FOR ENHANCED FORGEABILITY", publicada como la publicación de solicitud de patente de Estados Unidos N.º 2011/0802979.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas, un método para trabajar en caliente un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación de acuerdo con la presente divulgación puede comprender, en general, usar una plaqueta de múltiples capas entre el lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación y el troquel de forja u otra estructura de forja para eliminar o reducir el agrietamiento de superficie del lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación. Además de eliminar o reducir el agrietamiento de superficie, la plaqueta de múltiples capas de

acuerdo con la presente divulgación también puede lubricar las superficies del lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación durante las operaciones de trabajo en caliente. La plaqueta de múltiples capas comprende al menos dos capas. En diversas realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas puede comprender al menos tres capas. En al menos una realización no limitativa, la plaqueta de múltiples capas puede comprender al menos una capa lubricante para reducir, por ejemplo, la fricción entre el lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación y el troquel u otra estructura de forja. Además, en al menos una realización no limitativa, la plaqueta de múltiples capas puede comprender al menos una capa aislante para aislar térmicamente, por ejemplo, el lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación del troquel u otra estructura de forja. En diversas realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas puede comprender una capa térmicamente aislante situada entre dos capas lubricantes intermedias. En diversas realizaciones no limitativas, el espesor de la o las capas aislantes y la o las capas lubricantes puede depender, por ejemplo, de las propiedades del material de la pieza de trabajo, el gradiente de temperatura entre la pieza de trabajo y el troquel de forja, y el o los materiales de la plaqueta de múltiples capas. En ciertas realizaciones no limitativas, las capas térmicamente aislantes pueden ser lo suficientemente gruesas como para aislar térmicamente la pieza de trabajo del troquel, y la o las capas lubricantes pueden ser lo suficientemente gruesas como para reducir la fricción entre la pieza de trabajo y el troquel durante la forja. En diversas realizaciones no limitativas, la o las capas térmicamente aislantes pueden ser, por ejemplo, más gruesas que la o las capas lubricantes o viceversa.

Haciendo referencia ahora a las figuras 7 y 8, una realización no limitativa de una plaqueta de múltiples capas que reduce el agrietamiento térmico de acuerdo con la presente divulgación puede comprender en general una pluralidad de capas 102, 104, 106. Al menos una de la pluralidad de capas puede ser una capa lubricante, por ejemplo, que puede reducir la fricción entre el lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación y el troquel u otra estructura de forja. Al menos una capa puede ser una capa térmicamente aislante, por ejemplo, que puede aislar térmicamente el lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación del troquel u otra estructura de forja. En diversas realizaciones no limitativas, una capa lubricante puede formar una capa exterior de la plaqueta de múltiples capas 100, de tal manera que la capa lubricante entre en contacto con, por ejemplo, la pieza de trabajo y/o el troquel. En ciertas realizaciones no limitativas, una capa lubricante puede formar las capas exteriores de la plaqueta de múltiples capas 100, de tal manera que las capas lubricantes entren en contacto con, por ejemplo, tanto la pieza de trabajo como el troquel u otra estructura de forja. En ciertas realizaciones no limitativas, una primera capa lubricante exterior puede comprender, por ejemplo, una superficie de contacto con la pieza de trabajo y una segunda capa lubricante exterior puede comprender, por ejemplo, una superficie de contacto con el troquel.

Haciendo referencia todavía a las figuras 7 y 8, en una realización a modo de ejemplo de la presente divulgación, las capas 102 y 104 pueden ser capas lubricantes, lo que puede reducir la fricción entre la pieza de trabajo y el troquel. Además, la capa 106 puede ser una capa térmicamente aislante, que puede aislar térmicamente la pieza de trabajo del troquel. En diversas realizaciones no limitativas, la capa aislante 106 puede situarse entre las capas lubricantes 102 y 104. En diversas realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas 100 puede incluir capas adicionales. Por ejemplo, la plaqueta de múltiples capas puede incluir una pluralidad de capas aislantes entre las capas lubricantes exteriores. En otras realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas puede incluir, por ejemplo una pluralidad de capas aislantes y lubricantes que se alternan.

Las capas de una plaqueta de múltiples capas se fijan o se mantienen entre sí por al menos un medio seleccionado a partir de al menos un elemento de sujeción, una costura, o al menos una grapa. Por ejemplo, haciendo referencia ahora a las figuras 9 y 10, las grapas 118 pueden fijar entre sí al menos dos capas 112, 114, 116 de una plaqueta de múltiples capas 110. En ciertas realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas 110 puede comprender, por ejemplo, una capa térmicamente aislante 116 intercalada entre dos capas lubricantes 112, 114 (figura 9). Las grapas 118 pueden, por ejemplo, perforar a través de las capas lubricantes 112 y 114 para formar un manguito o bolsillo. En diversas realizaciones no limitativas, la capa térmicamente aislante 116 puede deslizarse o situarse de otro modo dentro del manguito formado por las capas lubricantes exteriores unidas o grapadas 112 y 114. En diversas realizaciones no limitativas, unas filas de grapas 118 pueden extenderse a lo largo de dos lados laterales de una plaqueta de múltiples capas 110. Por ejemplo, las filas de grapas 118 pueden extenderse a lo largo de dos lados laterales de una plaqueta de múltiples capas 110. La capa aislante 116 puede deslizarse, por ejemplo, a través de un lado no grapado y/o una parte de la plaqueta de múltiples capas 110. En diversas realizaciones no limitativas, al menos una grapa 118 puede perforar a través de la capa aislante interior 116. Por ejemplo, la capa aislante 116 puede situarse entre las capas lubricantes exteriores 112, 114, y puede aplicarse, por ejemplo, una grapa 118 a las capas exterior e interior 112, 114 y 116. En tales realizaciones no limitativas, la grapa 118 puede mantener, por ejemplo, la capa aislante interior 116 en relación con las capas lubricantes exteriores 112 y 114.

Haciendo referencia ahora a las figuras 11 y 12, la costura 128 (figura 12) puede fijar entre sí las capas 122, 124, 126 de una plaqueta de múltiples capas 120. En ciertas realizaciones no limitativas, la plaqueta de múltiples capas 120 puede comprender una capa térmicamente aislante 126 intercalada, por ejemplo, entre dos capas lubricantes 122 y 124. En diversas realizaciones no limitativas, las capas lubricantes exteriores 122 y 124 pueden formarse a partir de una lámina de material lubricante. La lámina de material lubricante puede plegarse a lo largo de una línea 127 para formar, por ejemplo, un manguito o bolsillo y la costura puede mantener juntas las capas lubricantes exteriores 122 y 124. En ciertas realizaciones no limitativas, la costura 128 puede extenderse alrededor de al menos una parte del perímetro de la plaqueta de múltiples capas 110. La costura puede extenderse, por ejemplo, a lo largo

de los bordes no plegados de la plaqueta de múltiples capas 120. En diversas realizaciones no limitativas, la capa térmicamente aislante 126 puede deslizarse o situarse de otro modo dentro del manguito formado por las capas lubricantes exteriores 122 y 124. En ciertas realizaciones no limitativas, al menos una parte de la costura 128 puede extenderse a través de la capa térmicamente aislante interior 126. En tales realizaciones no limitativas, la costura 128 puede mantener la capa térmicamente aislante interior 126 en relación con las capas lubricantes exteriores 122 y 124.

En diversas realizaciones no limitativas, una capa térmicamente aislante para aislar térmicamente una pieza de trabajo de un troquel de forja de acuerdo con la presente divulgación puede comprender, una pluralidad de fibras cerámicas. De acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas, la pluralidad de las fibras cerámicas puede comprender un haz, una tira o estopa, un tejido y/o una placa. Como se usa en general en el presente documento, el término "tejido" se refiere a materiales que pueden tejerse, tricotarse, fieltarse o fusionarse, a materiales no tejidos, o a materiales que de otro modo están fabricados de fibras. En ciertas realizaciones no limitativas, el tejido puede comprender un aglutinante para mantener juntas la pluralidad de fibras. En ciertas realizaciones no limitativas, el tejido puede comprender uno o más de un hilo, una manta, una esterilla, un papel, un fieltro y similares. En ciertas realizaciones no limitativas, la capa térmicamente aislante puede comprender un tejido cerámico tal como, por ejemplo, un tejido cerámico que comprende fibras de arcilla refractaria. Por ejemplo, la capa térmicamente aislante puede comprender tela KAOWOOL, un material conocido por los expertos en la materia y que comprende arcilla refractaria de alúmina-sílice. En diversas realizaciones, la capa térmicamente aislante puede ser suficientemente resistente térmicamente para proteger la pieza de trabajo trabajada en caliente del troquel de enfriamiento y/o para evitar o reducir significativamente la transferencia térmica entre los dos cuerpos. La resistencia térmica de la capa aislante puede ser, por ejemplo, mayor que la resistencia térmica de la capa lubricante de la plaqueta de múltiples capas. En diversas realizaciones no limitativas, la conductividad térmica del material aislante puede variar, por ejemplo, desde $1,45 \text{ BTU} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$ a $2,09 \text{ BTU} \cdot \text{in}/(\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$ para temperaturas entre $1500 \text{ }^\circ\text{F}$ y $2000 \text{ }^\circ\text{F}$ ($816 \text{ }^\circ\text{C}$ y $1093 \text{ }^\circ\text{C}$).

Los espesores de la o las capas aislantes de una plaqueta de múltiples capas pueden variar de acuerdo con la conductividad térmica del tejido. En ciertas realizaciones no limitativas, el tejido puede tener, por ejemplo, un espesor del 0,5", 1,0" o 2" (1,27 cm, 2,54 cm o 5,08 cm). Además, las formas y espesores de una o más capas térmicamente aislantes de la plaqueta de múltiples capas pueden tener en cuenta el intervalo de temperatura sobre el que las aleaciones pueden trabajarse en caliente, por ejemplo, la temperatura a la que se inician las grietas en la aleación específica a trabajar. A una temperatura de inicio dada para una operación de trabajo en caliente, algunas aleaciones pueden trabajarse efectivamente en caliente en un intervalo de temperatura mayor que otras aleaciones debido a las diferencias en la temperatura a la que se inician las grietas 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 se inician las grietas), el espesor de una o más capas térmicamente aislantes y, por lo tanto, el espesor de la plaqueta de múltiples capas, puede ser relativamente mayor para inhibir o evitar que la pieza de trabajo se enfríe a un intervalo de temperatura de fragilidad en el que se inician las grietas. Del mismo modo, para las aleaciones que tienen un intervalo de temperatura de trabajo en caliente relativamente grande, el espesor de una o más capas térmicamente aislantes y, por lo tanto, el espesor de la plaqueta de múltiples capas, 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 de fragilidad en el que se inician las grietas. En diversas realizaciones no limitativas, una pluralidad de capas aislantes pueden apilarse y/o estratificarse para lograr un espesor suficiente para proporcionar el efecto aislante deseado.

En diversas realizaciones no limitativas, una capa lubricante para reducir la fricción entre una pieza de trabajo y un troquel de forja de acuerdo con la presente divulgación puede comprender fibra de vidrio. La fibra de vidrio puede comprender, por ejemplo, un punto de fusión entre $1650 \text{ }^\circ\text{F}$ y $2050 \text{ }^\circ\text{F}$ ($899 \text{ }^\circ\text{C}$ - $1121 \text{ }^\circ\text{C}$) y puede comprender, por ejemplo, SiO_2 , Al_2O_3 , $\text{B}_2\text{O}_3\text{TiO}$ y/o CaO . En ciertas realizaciones no limitativas, la capa lubricante puede tener un coeficiente de fricción bajo. La capa lubricante puede tener, por ejemplo, un coeficiente de fricción que es menor que el coeficiente de fricción de la pieza de trabajo y/o el troquel. En ciertas realizaciones no limitativas, la capa lubricante puede tener, por ejemplo, un coeficiente de fricción que es menor que el coeficiente de fricción de la capa aislante. En diversas realizaciones, el coeficiente de fricción para la capa lubricante a la temperatura de forja puede variar, por ejemplo, de 0,8 a 1,0. Por el contrario, el coeficiente de fricción para los metales puede variar de 0,3 a 0,9, en función de la aleación y la temperatura.

De acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, en general, la formación inicial de una pieza de trabajo. Un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación descrita en el presente documento pueden formarse usando, por ejemplo, técnicas convencionales de metalurgia o técnicas de pulvimetalurgia. Por ejemplo, en diversas realizaciones no limitativas, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación puede formarse mediante una combinación de fusión por inducción en vacío (VIM) y refusión por arco en vacío (VAR), conocida como una operación VIM-VAR. En diversas otras realizaciones no limitativas, una pieza de trabajo de aleación puede formarse mediante una técnica de triple fusión, en la que se realiza una operación de refusión por electroescoria (ESR) intermedia entre una operación VIM y una operación VAR, proporcionando una secuencia VIM-ESR-VAR (es decir, una triple fusión). En otras realizaciones no limitativas, puede formarse una

pieza de trabajo de aleación usando una operación de pulvimetalurgia que implica la atomización de una aleación fundida y la recolección y consolidación de los polvos metalúrgicos resultantes en una pieza de trabajo de aleación.

5 En ciertas realizaciones no limitativas, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación pueden formarse usando una operación de formación por pulverización. Por ejemplo, puede usarse una VIM para preparar una composición de aleación base a partir de un material de carga. Una operación de ESR puede usarse opcionalmente después de la VIM. La aleación fundida puede extraerse de un baño de fusión VIM o ESR y atomizarse para formar gotitas fundidas. La aleación fundida puede extraerse, por ejemplo, de un baño de fusión usando una guía de inducción de pared fría (CIG). Las gotitas de aleación fundida pueden depositarse en un molde o sobre un mandril u
10 otra superficie usando una operación de formación por pulverización para formar una pieza de trabajo de aleación solidificada.

15 En ciertas realizaciones no limitativas, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación pueden formarse usando un prensado isostático en caliente (HIP). Un HIP se refiere, en general, a la aplicación isostática de un gas a alta presión y alta temperatura, tal como, por ejemplo, argón, para compactar y consolidar material en polvo en una preforma monolítica. El polvo puede separarse del gas a alta presión y alta temperatura mediante un recipiente herméticamente sellado, que funciona como una barrera de presión entre el gas y el polvo que se compacta y consolida. El recipiente sellado herméticamente puede deformarse plásticamente para compactar el polvo, y las temperaturas elevadas pueden sinterizar efectivamente las partículas de polvo individuales entre sí para formar una
20 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 de níquel-titanio casi equiatómico puede cargarse en un recipiente metálico, 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 puede sellarse herméticamente al vacío, tal como, por ejemplo, mediante una soldadura. El
25 recipiente sellado puede tratarse a continuación con el HIP a una temperatura y a una presión suficiente para lograr la densificación completa 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.

30 Después de la formación inicial de la pieza de trabajo, un método no limitativo de procesar un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, en general, el calentamiento de la pieza de trabajo y/o el acondicionamiento de la superficie de la pieza de trabajo. En ciertas realizaciones no limitativas, una pieza de trabajo de aleación puede exponerse a altas temperaturas para homogeneizar la composición de la aleación y la microestructura de la pieza de trabajo. Las altas temperaturas pueden estar por encima de la temperatura de recristalización de la aleación pero por debajo de la temperatura del punto de fusión de la aleación. Una pieza de trabajo de aleación puede acondicionarse en la superficie, por ejemplo, esmerilando y/o desconchando la superficie de la pieza de trabajo. Una pieza de trabajo también puede, por ejemplo, limpiarse con un chorro de arena y/o pulirse. Las operaciones de acondicionamiento de la superficie pueden realizarse antes y/o después de cualquier etapa opcional de tratamiento térmico, como, por ejemplo, la
35 homogeneización a altas temperaturas.

40 De acuerdo con ciertas realizaciones no limitativas, un método de procesamiento de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación para reducir el agrietamiento térmico puede comprender, en general, trabajar 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 plásticamente la pieza de trabajo. La fuerza puede aplicarse con, por ejemplo, troqueles y/o rodillos. En diversas realizaciones no limitativas, una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación puede situarse entre al menos una parte de la pieza de trabajo y al menos una parte del o los troqueles u otra estructura de forja. Por ejemplo, haciendo referencia ahora a las figuras 4A y 4B, trabajar en caliente una pieza de trabajo 40 puede comprender forjar por recalcado la pieza de trabajo 40 en un troquel abierto. El troquel abierto puede comprender, por ejemplo, una primera parte de troquel 50 y una segunda parte de troquel 52.
45 En diversas realizaciones no limitativas, la pieza de trabajo 40 puede sujetarse entre las partes de troquel primera y segunda 50, 52 de tal manera que la pieza de trabajo 40 se deforma plásticamente (figura 4B) entre las mismas. En ciertas realizaciones no limitativas, puede situarse una plaqueta de múltiples capas 130, 140, entre al menos una parte de la pieza de trabajo 40 y una de las partes de troquel 50, 52. Por ejemplo, puede situarse una primera plaqueta de múltiples capas 140 situada entre la primera parte de troquel 50 y la pieza de trabajo 40, y, por ejemplo, una segunda plaqueta de múltiples capas 130 puede situarse entre la segunda parte de troquel 52 y la pieza de trabajo 40. La plaqueta de múltiples capas 130, 140 puede fijarse a la pieza de trabajo 40 y/o al troquel 50. En diversas realizaciones, la plaqueta de múltiples capas 130, 140 puede situarse, por ejemplo, en la pieza de trabajo 40 y mantener en su posición por gravedad. La plaqueta de múltiples capas 130, 140 puede tener cualquier anchura y longitud adecuadas para cubrir al menos una parte de la pieza de trabajo preformada 40 y/o la pieza de trabajo deformada 40a. La anchura y la longitud de la plaqueta de múltiples capas 130, 140 pueden variar, por ejemplo, de acuerdo con el tamaño y/o la forma de la pieza de trabajo 40 y el troquel 50. En diversas realizaciones no limitativas, las plaquetas de múltiples capas 130, 140 pueden cubrir, por ejemplo, toda la interfaz entre la pieza de trabajo 40 y las partes de troquel 50, 52. En otras realizaciones no limitativas, las plaquetas de múltiples capas 130, 140 pueden cubrir solo parcialmente, por ejemplo, la interfaz entre la pieza de trabajo 40 y las partes de troquel 50, 52.
50
55
60

65 Haciendo referencia ahora a la figura 5, trabajar en caliente una pieza de trabajo 80 puede comprender forjar por

- recalcado una pieza de trabajo 80 en un troquel de impresión 70. El troquel de impresión 70 puede incluir, por ejemplo, un punzón 72, que puede incluir, por ejemplo, una superficie de impresión y/o de punzonado sustancialmente plano. En diversas realizaciones no limitativas, la pieza de trabajo 80 puede sujetarse entre el troquel de impresión 70 y el punzón 72 de tal manera que la pieza de trabajo 80 se deforme plásticamente entre los
- 5 mismos. En ciertas realizaciones no limitativas, puede situarse una plaqueta de múltiples capas 150, 160, entre al menos una parte de la pieza de trabajo 80 y el troquel 70 y/o el punzón 72. Por ejemplo, una primera plaqueta de múltiples capas 150 puede situarse entre al menos una parte del punzón 72 y al menos una parte de la pieza de trabajo 80, y, por ejemplo, una segunda plaqueta de múltiples capas 160 puede situarse entre al menos una parte del troquel de impresión 70 y al menos una parte de la pieza de trabajo 80. La plaqueta de múltiples capas 150, 160
- 10 puede fijarse, por ejemplo, a la pieza de trabajo 80 y/o al troquel 70 y/o al punzón 72. En diversas realizaciones, la plaqueta de múltiples capas 150, 160 puede situarse en la pieza de trabajo 80 y mantenerse, por ejemplo, en su posición por gravedad. La plaqueta de múltiples capas 150, 160 puede tener cualquier anchura y longitud adecuadas para cubrir al menos una parte de la pieza de trabajo 80. La anchura y la longitud de la plaqueta de múltiples capas 150, 160 pueden variar de acuerdo con el tamaño y/o la forma de la pieza de trabajo 80. En diversas realizaciones no limitativas, las plaquetas de múltiples capas 150, 160 pueden cubrir, por ejemplo, toda la interfaz entre la pieza de trabajo 80 y las partes de troquel 70, 72. En otras realizaciones no limitativas, las plaquetas de múltiples capas 150, 160 pueden cubrir solo parcialmente, por ejemplo, la interfaz entre la pieza de trabajo 80 y las partes de troquel 70, 72.
- 20 Haciendo referencia ahora a las figuras 6A y 6B, un elemento de sujeción 84 formado por el sistema de forjado por recalcado de troquel de impresión representado en la figura 5, es decir, el uso de plaquetas de múltiples capas 150, 160 situadas entre la pieza de trabajo 80 y el troquel de impresión 70 y entre la pieza de trabajo 80 y el punzón 72, puede incluir un cabezal de elemento de sujeción 86. Como se muestra en la figura 6B, el cabezal de elemento de sujeción 86 formado durante la operación de forjado por recalcado puede comprender una superficie exterior 88 que
- 25 está sustancialmente libre, por ejemplo, de grietas superficiales. Comparativamente, el elemento de sujeción 24 (figuras 2A y 2B) formado por la operación de forjado por recalcado de troquel de impresión representado en las figuras 1A-1C, es decir, sin el uso de una plaqueta de múltiples capas, incluye grietas superficiales significativamente mayores en la superficie exterior 24 de la misma.
- 30 En ciertas realizaciones no limitativas, trabajar en caliente la pieza de trabajo puede comprender trabajar en caliente la pieza de trabajo a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F (816 °C a 1371 °C). Por supuesto, como será evidente para los expertos en la materia, el intervalo de temperatura al que puede producirse el trabajo en caliente para una pieza de trabajo de aleación específica estará influenciado por factores que incluyen, por ejemplo, la composición y la microestructura de la aleación, el tamaño y la forma de la pieza de trabajo, y la técnica específica de trabajo en caliente empleada. En ciertas realizaciones no limitativas, 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 puede forjarse por recalcado y/o forjarse por estirado. En diversas realizaciones no limitativas, el método puede comprender trabajar en caliente la pieza de trabajo mediante forja. En diversas realizaciones no limitativas, el método puede comprender trabajar en caliente la pieza de trabajo forjando a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F
- 35 (816 °C a 1371 °C). En diversas realizaciones no limitativas, el método puede comprender trabajar en caliente la pieza de trabajo mediante extrusión. En diversas realizaciones no limitativas, el método puede comprender trabajar en caliente mediante extrusión a una temperatura de 1500 °F a 2500 °F (816 °C a 1371 °C).
- 40 Una operación de forja por recalcado y por estirado puede comprender una o más secuencias de una operación de forja por recalcado y una o más secuencias de una operación de forja por estirado. Durante una operación por recalcado, las superficies finales de un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación pueden situarse entre los troqueles de forja que aplican fuerza a la pieza de trabajo y que comprimen la longitud de la pieza de trabajo y aumentan la sección transversal de la pieza de trabajo. Una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación puede situarse, por ejemplo, entre los troqueles de forja y las superficies finales del lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación. Durante una operación de estirado, las superficies laterales (por ejemplo, la superficie circunferencial de una pieza de trabajo cilíndrica) pueden situarse entre los troqueles de forja que aplican fuerza al lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación que comprime la sección transversal de la pieza de trabajo y aumenta la longitud de la pieza de trabajo. Una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación puede situarse, por ejemplo, entre los troqueles de forja y las superficies laterales del lingote de aleación
- 45 u otra pieza de trabajo de aleación.
- 50 En diversas realizaciones no limitativas, un lingote de aleación u otra pieza de trabajo de aleación pueden someterse a una o más operaciones de forja por recalcado y por estirado. Por ejemplo, en una operación de forja por recalcado y por estirado triple, una pieza de trabajo puede forjarse por recalcado en primer lugar y a continuación forjarse por estirado. La secuencia de recalcado y estirado puede repetirse dos veces más, para un total de tres operaciones secuenciales de recalcado y estirado. En diversas realizaciones no limitativas, una 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 los expertos en la materia, y las plaquetas de múltiples capas 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 una experimentación indebida.
- 55
- 60
- 65

Aunque los métodos descritos en el presente documento son ventajosos para su uso en relación con las aleaciones sensibles al agrietamiento, se entenderá que los métodos también pueden aplicarse, en general, 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 1000 °F a 2200 °F (537 °C a 1204 °C), y aleaciones en general no propensas a agrietarse. Como se usa en el presente documento, el término "aleación" incluye aleaciones convencionales, superaleaciones y metales que incluyen solo niveles incidentales de otros elementos. Como se entiende por los expertos en la materia, las superaleaciones muestran una estabilidad superficial relativamente buena, resistencia a la corrosión y a la oxidación, fuerza elevada y resistencia elevada a la termodeformación plástica a altas temperaturas.

Las piezas de trabajo de aleación que pueden procesarse de acuerdo con las diversas realizaciones en el presente documento pueden estar en cualquier forma adecuada. En las realizaciones específicas no limitativas, por ejemplo, las piezas de trabajo de aleación pueden comprender o estar en forma de lingotes, tochos, barras, placas, tubos, preformas sinterizadas y similares.

En diversas realizaciones no limitativas, los métodos desvelados en el presente documento pueden usarse para producir un tocho forjado a partir de un lingote de aleación en la forma de un lingote de aleación en forma de lingote fundido, consolidado o formado por pulverización. La conversión de forja o la conversión de extrusión de un lingote en un tocho u otro artículo trabajado pueden producir una estructura de grano más fina en el artículo en comparación con la pieza de trabajo anterior. Los métodos y procesos descritos en el presente documento pueden mejorar el rendimiento de los productos forjados o extruidos (tal como, por ejemplo, los tochos) a partir de las piezas de trabajo debido a que la plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación puede reducir la incidencia de grietas superficiales de la pieza de trabajo durante las operaciones de forja y/o de extrusión. Por ejemplo, se ha observado que una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación proporcionada entre al menos una región de una superficie de una pieza de trabajo y un troquel puede tolerar más fácilmente el esfuerzo inducido por los troqueles de trabajo. También se ha observado que una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación proporcionada entre al menos una región de una superficie de una pieza de trabajo y un troquel también puede tolerar más fácilmente la diferencia de temperatura entre los troqueles de trabajo y la pieza de trabajo durante el trabajo en caliente. De esta manera, se ha observado que se evita o se reduce el inicio de grietas superficiales de la pieza de trabajo subyacente durante el trabajo.

En diversas realizaciones no limitativas, los lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación de diversas aleaciones que tienen una plaqueta de múltiples capas de acuerdo con la presente divulgación dispuesta sobre los mismos, pueden trabajarse en caliente para formar productos que pueden usarse para fabricar diversos artículos. Por ejemplo, las realizaciones de los procesos descritos en el presente documento pueden usarse para formar tochos a partir de cualquiera 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, una aleación a base de titanio-níquel, una aleación a base de cobalto, una superaleación a base de níquel y otras superaleaciones. Los tochos u otros productos formados a partir de los lingotes trabajados en caliente u otras piezas de trabajo de aleación pueden usarse para fabricar artículos que incluyen, pero no se limitan a, componentes de turbinas, tales como, por ejemplo, discos y anillos para motores de turbina y diversas turbinas con base en tierra. Otros artículos fabricados a partir de lingotes de aleación u otras piezas de trabajo de aleación procesadas de acuerdo con diversas realizaciones no limitativas descritas en el presente documento pueden incluir, pero no se limitan a, componentes de válvula, componentes de motor, árboles y elementos de sujeción.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para forjar una pieza de trabajo, comprendiendo el sistema:

5 un troquel (10, 30, 32, 50, 52, 70, 72);
 una pieza de trabajo de aleación (20, 40, 80); y
 una plaqueta (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160) situada entre medias de al menos una parte del troquel y al menos una parte de la pieza de trabajo de aleación, en donde la plaqueta comprende una pluralidad de capas que incluyen:

10 una primera capa que comprende una primera resistencia térmica y un primer coeficiente de fricción; y
 una segunda capa que comprende una segunda resistencia térmica y un segundo coeficiente de fricción, en donde la primera resistencia térmica es mayor que la segunda resistencia térmica, siendo el primer coeficiente de fricción mayor que el segundo coeficiente de fricción,

15 **caracterizado por que** las capas de la pluralidad de capas están fijadas entre sí por al menos un medio seleccionado de al menos un elemento de sujeción, una costura (128) o al menos una grapa (118).

20 2. El sistema de la reivindicación 1, en el que la segunda capa comprende fibra de vidrio.

3. El sistema de la reivindicación 1, en el que la primera capa comprende fibras de arcilla refractaria.

25 4. El sistema de la reivindicación 1, que comprende además una tercera capa que comprende una tercera resistencia térmica y un tercer coeficiente de fricción, en donde la primera resistencia térmica es mayor que la tercera resistencia térmica, en donde el primer coeficiente de fricción es mayor que el tercer coeficiente de fricción y en el que la primera capa está situada entre medias de las capas segunda y tercera.

30 5. El sistema de la reivindicación 4, en el que la segunda capa comprende además una superficie de contacto con la pieza de trabajo, y en el que la tercera capa comprende además una superficie de contacto con el troquel.

35 6. El sistema de la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado del grupo que consiste en 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.

40 7. El sistema de la reivindicación 6, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado del grupo que consiste en la Aleación 718 (UNS N.º N07718), la Aleación 720 (UNS N.º N07720), la Aleación Rene 41 (UNS N.º N07041), la Aleación Rene 65, la Aleación Rene 88, la Aleación WSPALLOY® (UNS N.º N07001) y la Aleación INCONEL® 100.

45 8. El sistema de la reivindicación 1, en el que el troquel comprende un troquel de forja por recalcado y un punzón, en donde la plaqueta está situada entre al menos una parte del troquel de forja por recalcado y la pieza de trabajo de aleación, comprendiendo el sistema además una segunda plaqueta, y en donde la segunda plaqueta está situada entre al menos una parte del punzón y la pieza de trabajo de aleación.

9. Una plaqueta de múltiples capas (100, 110, 120) para usar durante una operación de forjado, comprendiendo la plaqueta de múltiples capas:

50 una primera capa lubricante (102, 112, 122);
 una segunda capa lubricante (104, 114, 124); y
 una primera capa aislante (106, 116, 126), estando situada la primera capa aislante en una posición intermedia entre las capas lubricantes primera y segunda,

55 **caracterizada por que** las capas lubricantes primera y segunda están fijadas entre sí por al menos un medio seleccionado de al menos un elemento de sujeción, una costura (128) o al menos una grapa (118).

60 10. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que la primera capa lubricante comprende además una superficie de contacto con la pieza de trabajo, y en la que la segunda capa lubricante comprende además una superficie de contacto con el troquel.

11. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que al menos una de las capas lubricantes primera y segunda comprende fibra de vidrio.

65 12. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que la primera capa aislante comprende fibras cerámicas.

- 5 13. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que la primera capa lubricante comprende un primer coeficiente de fricción, la segunda capa lubricante comprende un segundo coeficiente de fricción, y la primera capa aislante comprende un tercer coeficiente de fricción, y en donde el primer coeficiente de fricción y el segundo coeficiente de fricción son menores que el tercer coeficiente de fricción de la primera capa aislante.
- 10 14. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que la primera capa lubricante comprende una primera conductividad térmica, la segunda capa lubricante comprende una segunda conductividad térmica, y la primera capa aislante comprende una tercera conductividad térmica, y en donde la tercera conductividad térmica de la primera capa aislante es menor que la primera conductividad térmica y la segunda conductividad térmica.
- 15 15. La plaqueta de múltiples capas de la reivindicación 9, en la que las capas lubricantes primera y segunda forman un manguito para la capa aislante.
16. Un método para procesar una pieza de trabajo de aleación, que comprende:
 20 calentar la pieza de trabajo de aleación a una temperatura por encima de la temperatura ambiente;
 situar una plaqueta de múltiples capas (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160) entre la pieza de trabajo de aleación y un troquel (10, 30, 32, 50, 52, 70, 72), en donde la plaqueta de múltiples capas comprende una capa de lubricación y una capa de resistencia térmica, y
 25 forjar en caliente la pieza de trabajo de aleación,
- caracterizado por que** se fijan entre sí la capa de lubricación y la capa de resistencia térmica de dicha plaqueta de múltiples capas situada (100, 110, 120, 130, 140, 150, 160) mediante al menos un medio seleccionado de al menos un elemento de sujeción, una costura (128) o al menos una grapa (118).
- 25 17. El método de la reivindicación 16, en el que el trabajo en caliente de la pieza de trabajo de aleación comprende aplicar una fuerza con el troquel a la pieza de trabajo de aleación para deformar la pieza de trabajo de aleación.
- 30 18. El método de la reivindicación 16, que comprende además situar una pluralidad de plaquetas de múltiples capas entre la pieza de trabajo de aleación y al menos un troquel.
- 35 19. El método de la reivindicación 16, en el que la pieza de trabajo de aleación comprende un material seleccionado del grupo que consiste en la Aleación 718 (UNS N.º N07718), la Aleación 720 (UNS N.º N07720), la Aleación Rene 41 (UNS N.º N07041), la Aleación Rene 65, la Aleación Rene 88, la Aleación Waspaloy® (UNS N.º N07001) y la Aleación Inconel® 100.
20. El método de la reivindicación 17, en el que la capa de lubricación comprende fibra de vidrio.
- 40 21. El método de la reivindicación 16, en el que un coeficiente de fricción de la capa de lubricación es menor que un coeficiente de fricción de la capa de resistencia térmica.
22. El método de la reivindicación 16, en el que una resistencia térmica de la capa de resistencia térmica es mayor que una resistencia térmica de la capa de lubricación.

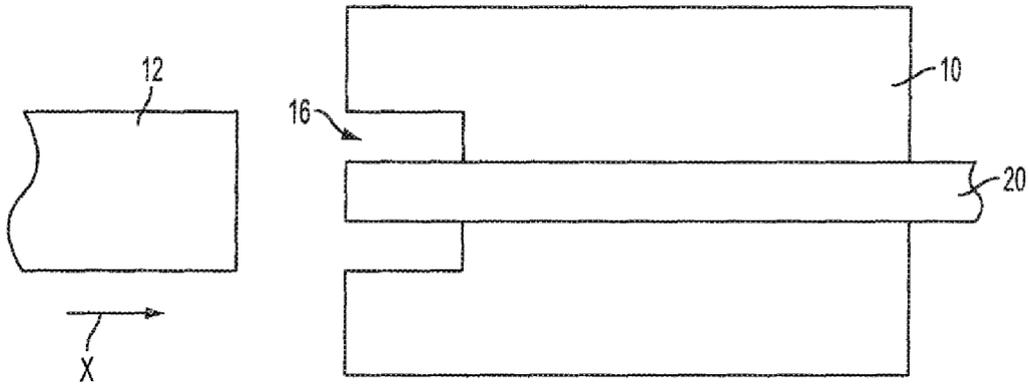


FIG. 1A

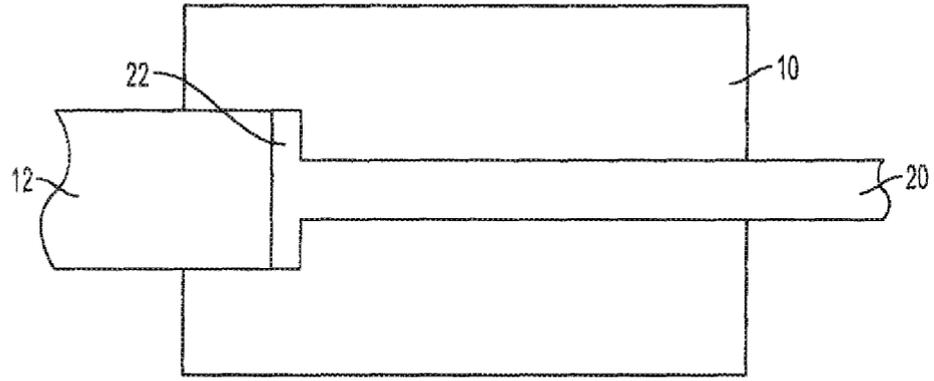


FIG. 1B

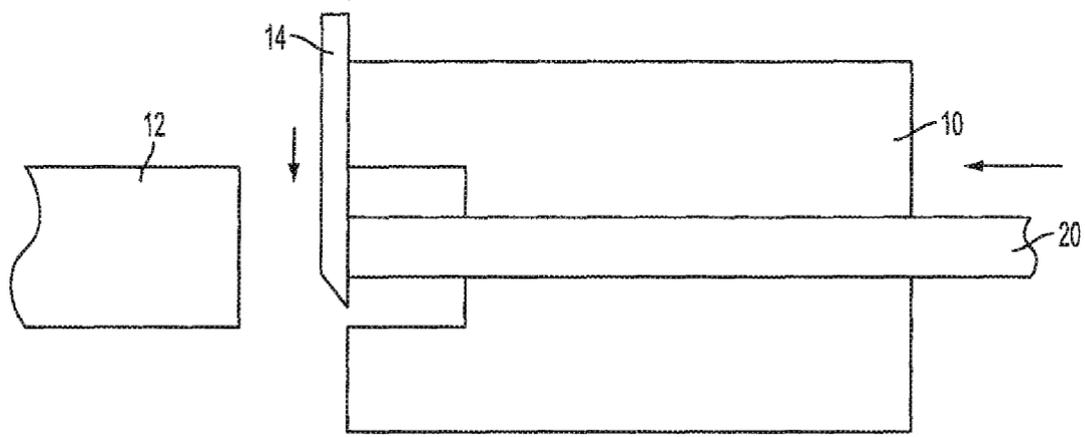


FIG. 1C

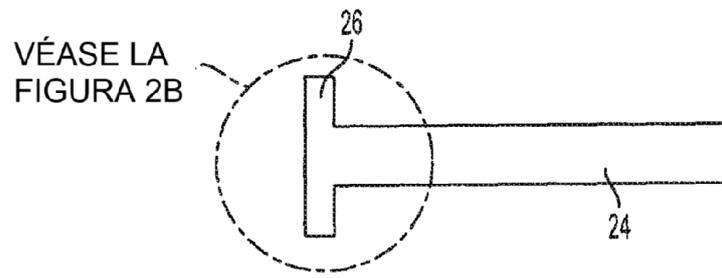


FIG. 2A

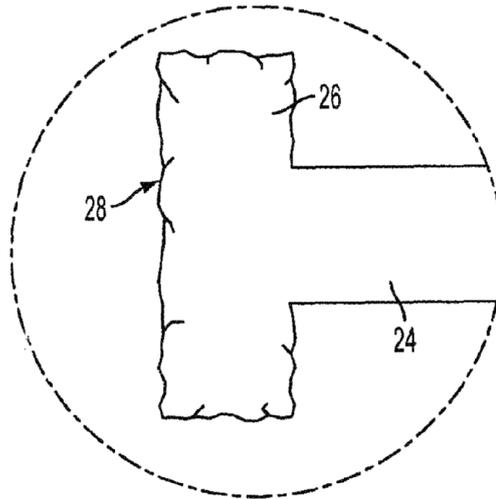


FIG. 2B

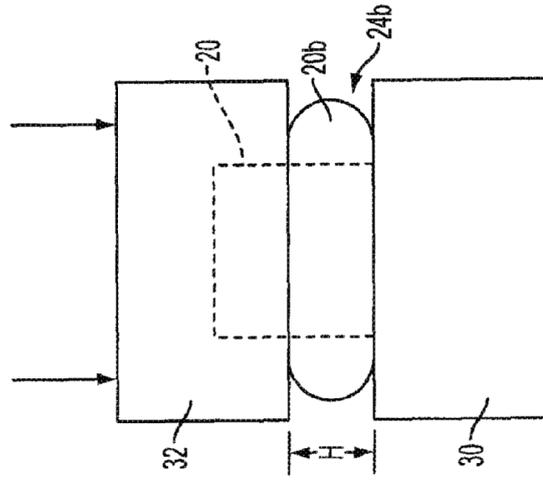


FIG. 3B

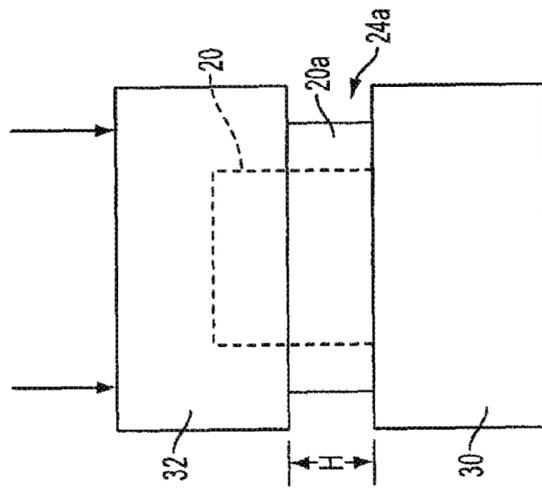


FIG. 3A

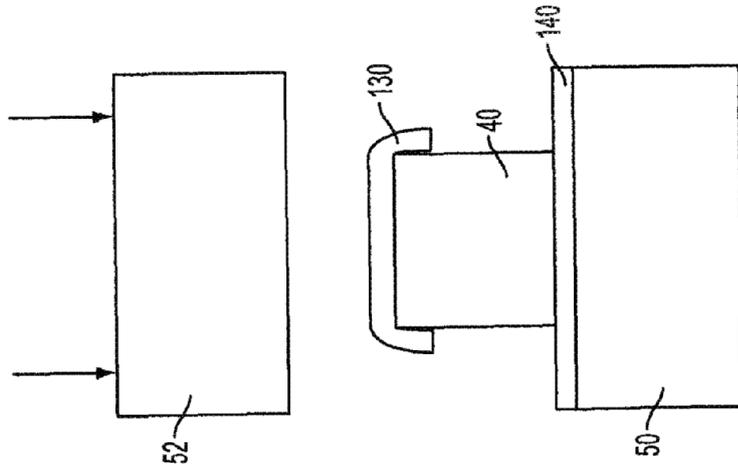


FIG. 4A

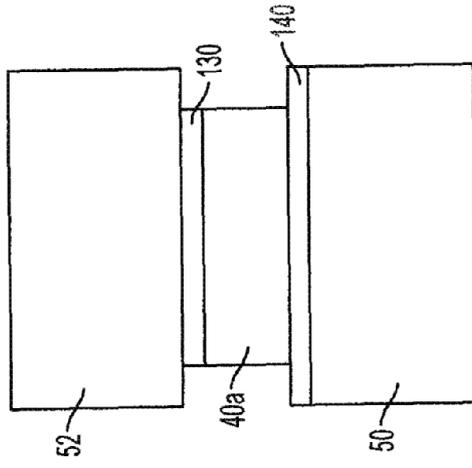


FIG. 4B

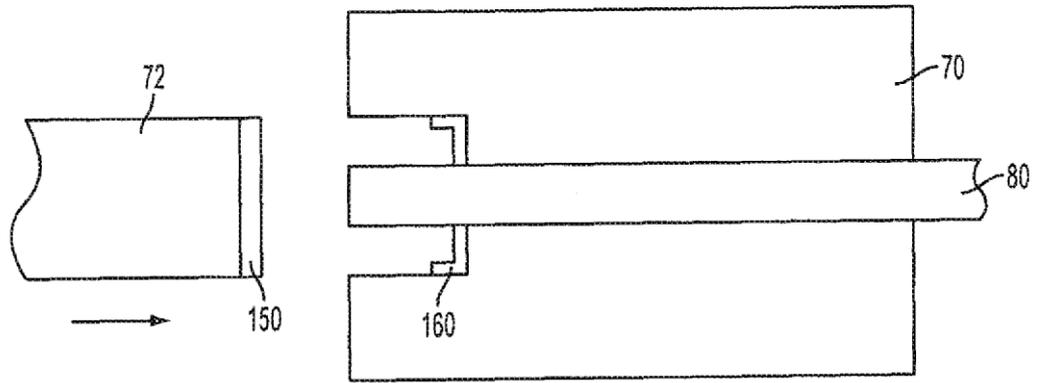


FIG. 5

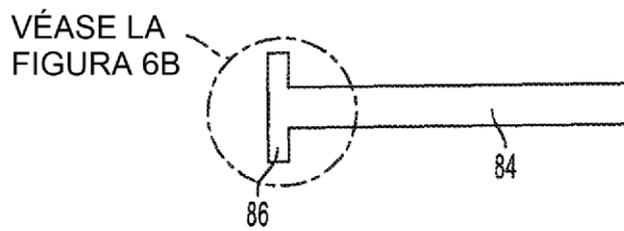


FIG. 6A

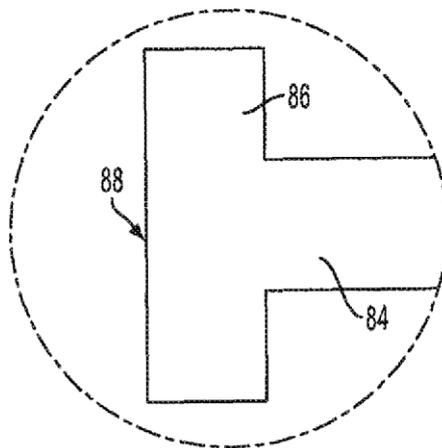


FIG. 6B

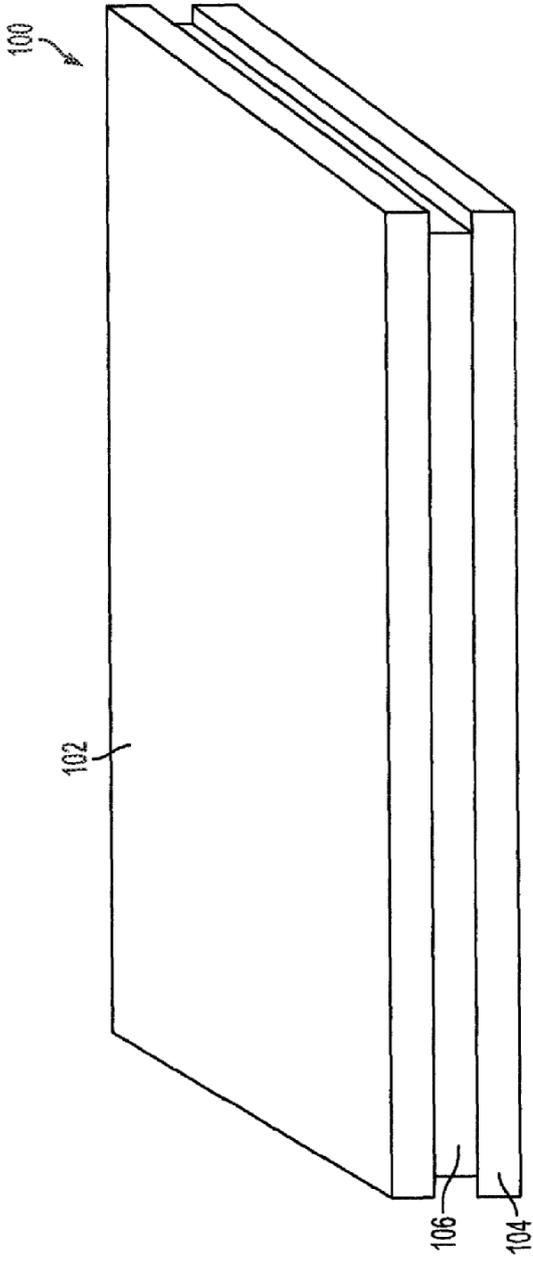


FIG. 7

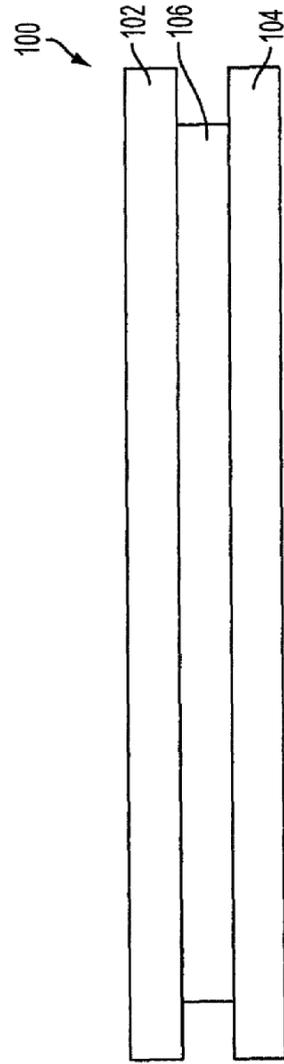


FIG. 8

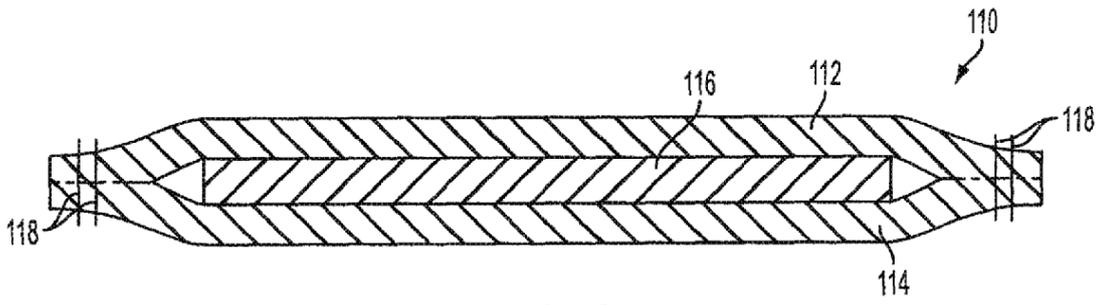


FIG. 9

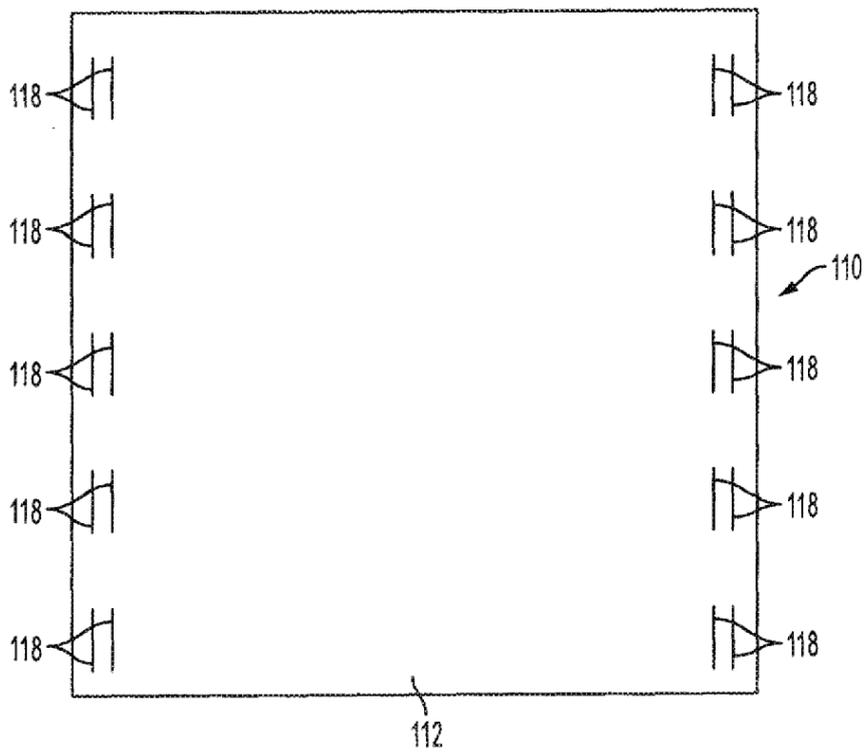


FIG. 10

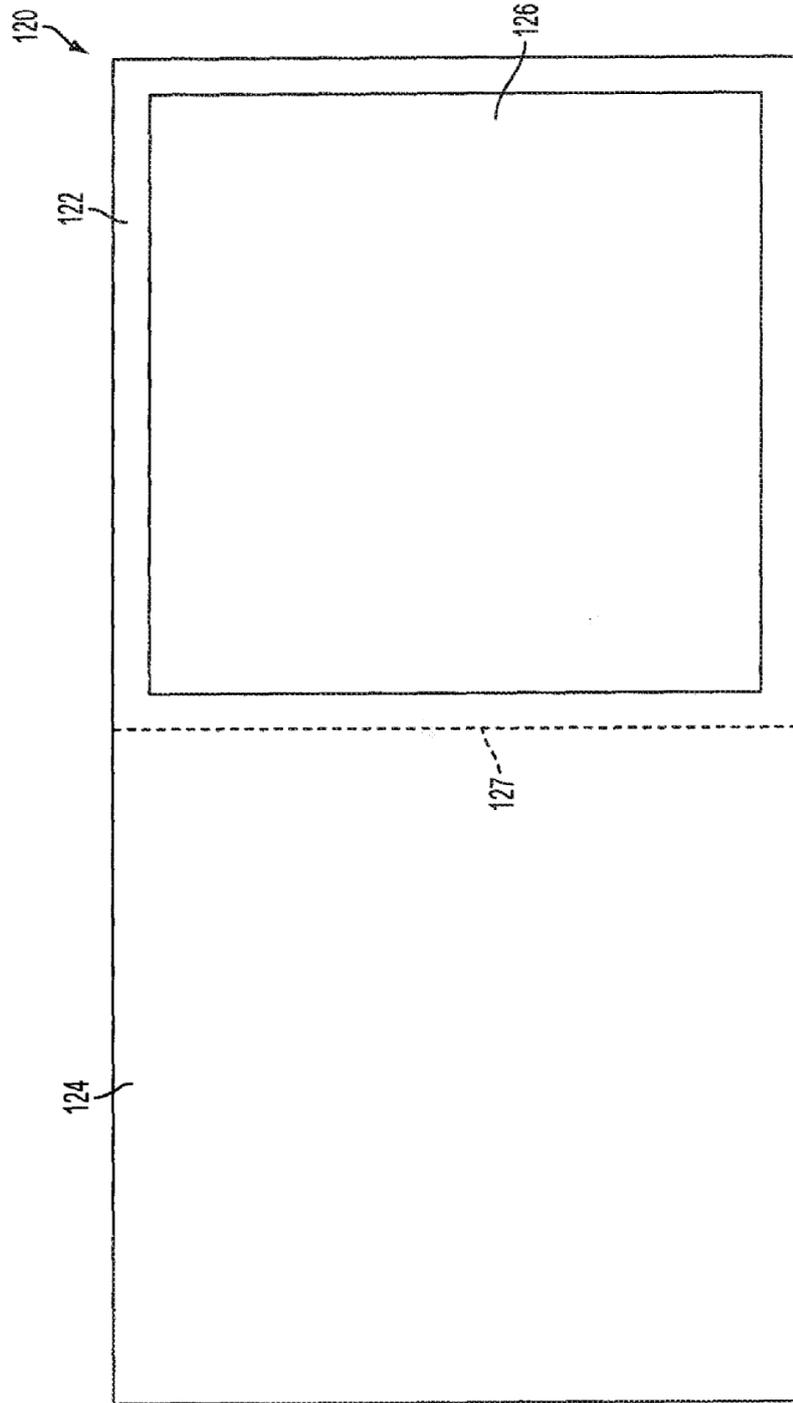


FIG. 11

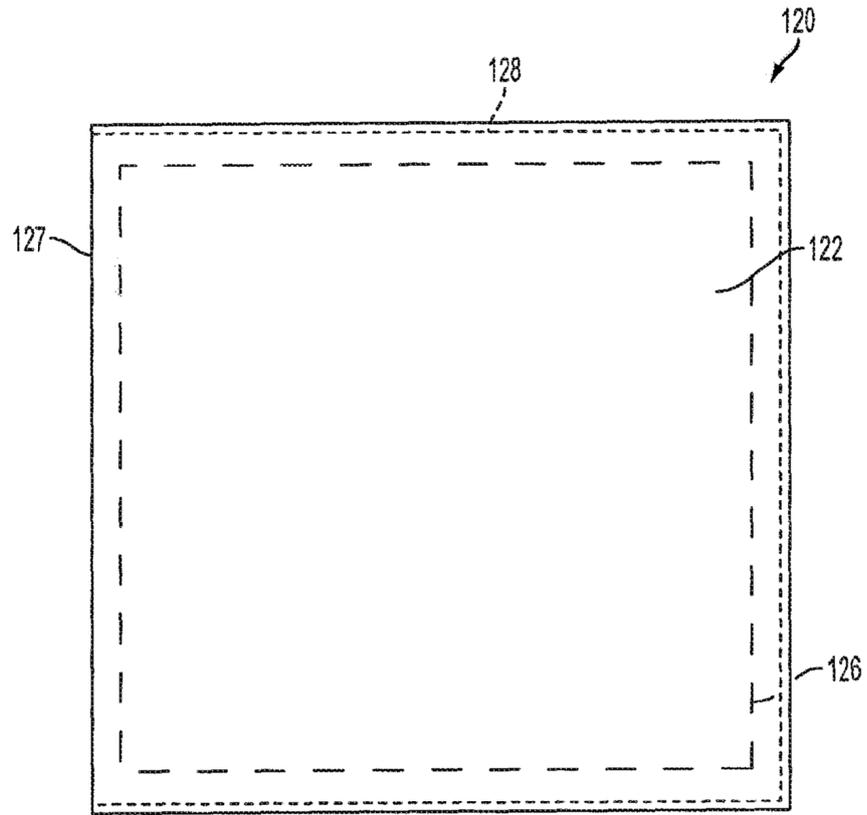


FIG. 12