

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 731 557**

51 Int. Cl.:

B21J 1/02 (2006.01)

C21D 7/10 (2006.01)

C22F 1/10 (2006.01)

C22F 1/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.03.2014 PCT/US2014/019788**

87 Fecha y número de publicación internacional: **25.09.2014 WO14149594**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2014 E 14712855 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2019 EP 2969296**

54 Título: **Forja en troquel abierto de paso dividido para aleaciones fuertes a base de níquel y titanio, sensibles a la trayectoria de tensión y difíciles de forjar**

30 Prioridad:
15.03.2013 US 201313844545

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
15.11.2019

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

72 Inventor/es:
**THOMAS, JEAN-PHILIPPE A.;
MINISANDRAM, RAMESH S.;
FLODER, JASON P. y
SMITH, JR., GEORGE J.**

74 Agente/Representante:
VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 731 557 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

Forja en troquel abierto de paso dividido para aleaciones fuertes a base de níquel y titanio, sensibles a la trayectoria de tensión y difíciles de forjar

5

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

10 La presente divulgación se refiere a métodos para forjar aleaciones de metal, incluyendo aleaciones de metal que son difíciles de forjar debido a una baja ductilidad. Algunos métodos de acuerdo con la presente divulgación transmiten tensión de manera que se maximiza el aumento de desorientación en la estructura de cristal de grano de metal y/o partículas de segunda fase, mientras se minimiza el riesgo de iniciación y propagación de grietas en el material que se forja. Se espera que algunos métodos de acuerdo con la presente divulgación afecten al refinamiento de microestructura en las aleaciones de metal.

15

Descripción de los antecedentes de la tecnología

La ductilidad es una propiedad inherente de cualquier material metálico (es decir, metales y aleaciones de metal). Durante un proceso de forja, la ductilidad de un material metálico se modula por la temperatura de forja y la microestructura del material metálico. Cuando la ductilidad es baja, por ejemplo ya que el material metálico tiene una ductilidad baja inherentemente, o una temperatura de forja baja debe usarse, o una microestructura dúctil todavía no se ha generado en el material metálico, es práctica usual reducir esa cantidad de reducción durante cada repetición de forja. Por ejemplo, en lugar de forjar una pieza de trabajo octagonal de 560 mm (22 pulgadas) hasta un octágono de 510 mm (20 pulgadas) directamente, una persona experta en la materia puede considerar inicialmente forjar un octágono de 535 mm (21 pulgadas) con pasadas de forja en cada cara del octágono, recalentar la pieza de trabajo y forjar un octágono de 510 mm (20 pulgadas) con pasadas de forja en cada cara del octágono. Este enfoque sin embargo puede no ser adecuado si el metal exhibe sensibilidad de trayectoria de tensión y una microestructura final específica debe obtenerse en el producto. La sensibilidad de trayectoria de tensión puede observarse cuando una cantidad crítica de tensión debe transmitirse en ciertas etapas para activar los mecanismos de refinamiento de grano. El refinamiento de microestructura puede no conseguirse por una práctica de forja en la que las reducciones tomadas durante las extracciones son demasiado ligeras.

20

25

30

35

40

En una situación donde el material metálico es sensible a la baja temperatura y es propenso a fracturarse a bajas temperaturas, el tiempo en el troquel debe reducirse. Un método para lograr esto es por ejemplo forjar una palanquilla octagonal de 560 mm (22 pulgadas) hasta una palanquilla cuadrada de esquina redondeada (RCS) de 510 mm (20 pulgadas) usando solo la mitad de las pasadas de lo que sería necesario para forjar una palanquilla octagonal de 510 mm (20 pulgadas). La palanquilla RCS de 510 mm (20 pulgadas) puede entonces recalentarse y una segunda mitad de pasadas aplicarse para formar una palanquilla octagonal de 510 mm (20 pulgadas). Otra solución para forjar materiales metálicos sensibles a baja temperatura es forjar un extremo de la pieza primero, recalentar la pieza de trabajo y luego forjar el otro extremo de la pieza de trabajo.

45

50

55

En las microestructuras de fase dual, el refinamiento de microestructura comienza con la generación de sublímite y aumento de desorientación como un precursor de procesos tal como por ejemplo nucleación, recristalización y/o globularización de segunda fase. Un ejemplo de una aleación que requiere aumento de desorientación para el refinamiento de microestructura es la aleación Ti-6Al-4V (UNS R56400) forjada en el campo de fase alfa-beta. En tales aleaciones, la forja es más eficaz en términos de refinamiento de microestructura cuando una gran reducción se transmite en una dirección determinada antes de rotar la pieza de trabajo. Esto puede hacerse en escala de laboratorio usando forja de múltiple eje (MAF). La MAF realizada en pequeñas piezas (unos pocos centímetros por lado) en condiciones (casi) isotérmicas y usando índices de tensión muy bajos con una lubricación apropiada es adecuada para transmitir tensión bastante homogéneamente; pero la separación de cualquiera de estas condiciones (pequeña escala, casi isotérmica, con lubricación) puede tener como resultado una tensión heterogénea transmitida preferentemente al centro así como problemas de ductilidad con grietas de superficie fría. Un proceso MAF para uso en refinamiento de grano de escala industrial de aleaciones de titanio se divulga en la Patente de Estados Unidos con n.º de Publicación 2012/0060981 A1.

60

El documento WO 2012/063504 divulga un método para someter un material metálico difícil de procesar a una forja multiaxial, implicando el método una etapa (a) de preparar un objeto a procesar formado desde un material metálico difícil de procesar, y una etapa (b) para llevar a cabo un proceso de forja del objeto a procesar a lo largo de tres direcciones de forja, que se cruzan entre sí, durante uno o más ciclos. La etapa (b) se lleva a cabo en un entorno de temperatura en el que la temperatura máxima es 100 °C o menos de manera que la cantidad de tensión introducida por ciclo de forja está dentro del intervalo de 0,01 a 0,2.

65

Sería aconsejable desarrollar un método de trabajo que proporcione suficiente tensión a un material metálico para iniciar los mecanismos de refinamiento de microestructura de forma eficaz a través de la forja, mientras se limitan los problemas de ductilidad.

Sumario

La invención proporciona un método de forja de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar el refinamiento de microestructura de acuerdo con la reivindicación 1 de las reivindicaciones adjuntas. La invención proporciona además un método de forja en troquel abierto de paso dividido de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar el refinamiento de microestructura de acuerdo con la reivindicación 2 de las reivindicaciones adjuntas.

De acuerdo con un aspecto no limitante de la presente divulgación, un método de forja de una pieza de trabajo de material metálico comprende forjar en prensa de troquel abierto la pieza de trabajo a una temperatura de forja en una primera dirección de forja hasta un límite de ductilidad de reducción del material metálico. La forja en prensa de troquel abierto de la pieza de trabajo hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico se repite una o más veces a la temperatura de forja en la primera dirección de forja hasta que una cantidad total de tensión transmitida en la primera dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura. La pieza de trabajo rota entonces un grado de rotación deseado.

La pieza de trabajo rotada se forja en prensa de troquel abierto a la temperatura de forja en una segunda dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico. La forja en prensa de troquel abierto de la pieza de trabajo hasta el límite de ductilidad del material metálico se repite una o más veces a la temperatura de forja en la segunda dirección de forja hasta que una cantidad total de tensión transmitida en la segunda dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura.

Las etapas de rotación, forja en prensa de troquel abierto y repetición de la forja en prensa de troquel abierto se repiten en una tercera dirección de forja y opcionalmente una o más direcciones adicionales hasta que una cantidad total de tensión para iniciar el refinamiento de grano se transmite a todo el volumen de la pieza de trabajo. La pieza de trabajo no se rota hasta que una cantidad total de tensión que es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura se transmite en cada una de la tercera y una o más direcciones adicionales.

De acuerdo con otra realización no limitante de la presente divulgación, un método de forja en troquel abierto de paso dividido de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar el refinamiento de microestructura comprende proporcionar una pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS que comprende un material metálico. La pieza de trabajo se forja por recalcado. La pieza de trabajo se rota posteriormente para la extracción en troquel abierto en una primera cara diagonal en una dirección X' de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS. La pieza de trabajo se forja por extracción de múltiples pasadas en la dirección X' hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción de prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

La pieza de trabajo rota para la extracción de troquel abierto en una segunda cara diagonal en la dirección Y' de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS. La pieza de trabajo se forja por extracción de múltiples pasadas en la dirección Y' hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

La pieza de trabajo rota para la extracción en troquel abierto en una primera cara RCS en una dirección Y de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS. La pieza de trabajo se forja por extracción de múltiples pasadas en la dirección Y hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción de prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

La pieza de trabajo se rota para la extracción en troquel abierto en una segunda cara RCS en una dirección X de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS. La pieza de trabajo se forja por extracción de múltiples pasadas en la dirección X hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento del grano. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico. Las etapas de los ciclos de forja de extracción múltiple y recalcado pueden repetirse como se desee para iniciar adicionalmente y/o mejorar el refinamiento de la microestructura en el material metálico.

Breve descripción de los dibujos

Las características y ventajas de los métodos y artículos descritos en este caso pueden entenderse mejor por referencia a los dibujos adjuntos en los que:

La FIGURA 1 es un diagrama de flujo de una realización no limitante de un método de forja en troquel abierto de paso dividido de un material metálico de acuerdo con la presente divulgación;

La FIGURA 2 es una representación esquemática de una pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS de acuerdo con una realización no limitante de la presente divulgación; y

La FIGURA 3A a la FIGURA 3E son ilustraciones esquemáticas de una realización no limitante de un método de forja en troquel abierto de paso dividido de una pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS de material metálico de acuerdo con la presente divulgación.

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

Descripción detallada de algunas realizaciones no limitantes

- 10 Debe entenderse que algunas descripciones de las realizaciones aquí descritas se han simplificado para ilustrar solo esos elementos, características y aspectos que son relevantes para un claro entendimiento de las realizaciones divulgadas aunque se eliminan, por motivos de claridad, otros elementos, características y aspectos. Los expertos en la materia, al considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, reconocerán que otros elementos y/o características pueden ser aconsejables en una implementación o aplicación particular de las realizaciones divulgadas. Sin embargo, ya que tales otros elementos y/o características pueden confirmarse e implementarse por expertos en la materia al considerar la presente descripción de las realizaciones divulgadas, y por tanto no son necesarios para un completo entendimiento de las realizaciones divulgadas, una descripción de esos elementos y/o características no se proporciona en este caso. Como tal, debe entenderse que la descripción expuesta en este caso es solo a modo de ejemplo e ilustrativa de las realizaciones divulgadas y no pretende limitar el alcance de la invención como se define solo por las reivindicaciones.

Todos los porcentajes y relaciones se calculan en función del peso total de la composición particular del material metálico, a menos que se indique lo contrario.

- 25 Como se usa en este caso, el término "material metálico" se refiere a metales, tal como metales comercialmente puros, y aleaciones de metal.

- Como se usa en este caso, los términos "atasco", "forja" y "forja en prensa de troquel abierto" se refieren a formas de procesamiento termomecánico ("TMP"), que también puede mencionarse como "trabajo termomecánico". El "trabajo termomecánico" se define en este caso como que cubre generalmente varios procesos de formación de material metálico que combinan tratamientos de deformación y térmicos controlados para obtener efectos sinérgicos, tal como por ejemplo y sin limitación, mejoras en resistencia sin pérdida de dureza. La definición de trabajo termomecánico es consistente con el significado atribuido en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), p. 480. Como se usa en este caso, el término "forja en prensa de troquel abierto" se refiere a la forja de materiales metálicos entre troqueles, en el que el flujo de material no se limita completamente, por presión hidráulica o mecánica, acompañado con una única carrera de trabajo de la prensa para cada sesión de troquel. Esta definición de forja de prensa en troquel abierto es consistente con el significado atribuido en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, JR Davis, ed., ASM International (1992), pp. 298 y 343. Como se usa en este caso, el término "atasco" se refiere a un proceso de reducción termomecánica usado para mejorar o refinar los granos de un material metálico, mientras se trabaja un lingote hasta tener una palanquilla. Esta definición de atasco es consistente con el significado asignado en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), p. 79.

- Como se usa en este caso, el término "palanquilla" se refiere a un producto cuadrado o redondo sólido semiterminado que se ha trabajado en caliente por forja, laminación o extrusión. Esta definición de palanquilla es consistente con el significado asignado en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), p. 40. Como se usa en este caso, el término "barra" se refiere a una sección sólida forjada desde una palanquilla hasta una forma, por ejemplo redonda, hexagonal, octagonal, cuadrada o rectangular con bordes redondeados o afilados, y es larga en relación con sus dimensiones en sección transversal, con una sección transversal simétrica. La definición de barra es consistente con el significado asignado en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, J. R. Davis, ed., ASM International (1992), p. 32.

- Como se usa en este caso, el término "límite de ductilidad" se refiere al límite o cantidad máxima de reducción o deformación plástica que un material metálico puede soportar sin fracturarse o romperse. Esta definición es consistente con el significado asignado en, por ejemplo, ASM Materials Engineering Dictionary, JR Davis, ed., ASM International (1992), p. 131. Como se usa en este caso, el término "límite de ductilidad de reducción" se refiere a la cantidad o grado de reducción que un material metálico puede soportar antes de romperse o fracturarse.

- Como se usa en este caso, las frases "iniciar refinamiento de microestructura" y "umbral de tensión para iniciar refinamiento de microestructura" se refieren a la transmisión de tensión en la microestructura de un material metálico para producir un aumento de desorientación (por ejemplo dislocación y sublímites) en la estructura de cristal y/o las partículas de segunda fase que tiene como resultado la reducción del tamaño de grano del material. La tensión se transmite a los materiales metálicos durante la práctica de realizaciones no limitantes de métodos de la presente divulgación, o durante la posterior etapa de procesamiento termomecánico. En las aleaciones de base de titanio o base de níquel sustancialmente de fase única (al menos 90 % de fase γ en níquel o fase β en titanio), el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura se refiere a la nucleación de los primeros granos

recristalizados. Puede estimarse desde la curva de tensión-presión medida en la temperatura y los índices de tensión de interés a través de compresión o tensión no axial. Esto está normalmente en el orden de 0,1 a 0,3 de tensión. Cuando se forjan unas aleaciones con base de titanio y base de níquel de fase dual, la evolución de microestructura es bastante más lenta. Por ejemplo, la globularización de la fase secundaria puede no lograrse o incluso iniciarse en una única extracción. El enfoque se coloca entonces en la tensión requerida para aumentar la desorientación eficazmente a través de la acumulación de múltiples etapas de forja. El refinamiento de microestructura se refiere entonces a la formación de pequeños subgranos cada vez más desorientados desde su grano matriz u orientación original. Esto está unido a una recuperación dinámica (acumulación de dislocaciones en sublímites), cuyo efecto también puede verse en curvas de tensión-presión en la forma de un ablandamiento suave. Unos valores de umbral similares de 0,1 a 0,3 se obtienen normalmente y pueden usarse como estimaciones cualitativas de umbral de tensión que necesita lograrse en cada extracción u operación de forja. La promoción de aumento de desorientación durante una extracción incrementa la probabilidad de que los subgranos se desorienten incluso más después de la rotación para la siguiente extracción en lugar de llevar su orientación de vuelta a la del grano matriz.

De acuerdo con un aspecto de un método de forja en troquel abierto de paso dividido de acuerdo con la presente divulgación, la forja en troquel abierto de paso dividido depende precisamente de controlar la cantidad de tensión transmitida a la pieza de trabajo en cada pasada para limitar las grietas de la pieza de trabajo. Si una reducción insuficiente se toma en una dirección de forja determinada para iniciar el proceso de refinamiento de microestructura en esa dirección determinada, la forja en prensa de troquel abierto se repite en la misma cara, en la misma dirección, hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico que se forja, hasta que una reducción suficiente se ha transmitido en esa dirección para iniciar el refinamiento de microestructura.

Si la cantidad deseable de reducción a impartir a la pieza de trabajo en cualquier pasada para iniciar el refinamiento de microestructura supera la cantidad máxima de reducción que puede obtenerse en una pasada de forja de extracción sin demasiada fracturación de material, es decir la cantidad de reducción supera el límite de ductilidad de reducción del material, entonces la pasada de reducción debería dividirse en dos o más pasadas por lo que 1) la tensión transmitida en cualquier pasada es menos que el límite de ductilidad de reducción del material en la temperatura de forja, y 2) la tensión total transmitida en una dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura satisfactorio. Solo después de transmitir suficiente tensión para accionar la evolución de microestructura e iniciar el refinamiento de microestructura en esa dirección debería rotar la pieza de trabajo para forjar en la siguiente pasada de reducción, en una segunda dirección.

En referencia a la FIGURA 1 de acuerdo con un aspecto no limitante de la presente divulgación un método 100 de forja de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar el refinamiento de microestructura comprende forjar en prensa de troquel abierto 102 la pieza de trabajo de material metálico en una temperatura de forja en una primera dirección de forja hasta un límite de ductilidad de reducción del material metálico. El límite de ductilidad de reducción del material metálico, como se usa la frase en este caso, puede estimarse de forma cualitativa por la tensión de fractura (ϵ_f), que es la tensión de ingeniería a la que un espécimen de ensayo se fractura durante un ensayo de tracción uniaxial. Un ensayo de tracción uniaxial particular que puede usarse se describe en ASTM E8/E8M-11, "Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials", ASTM International, West Conshohocken, PA, USA (2011). La verdadera tensión de fractura ϵ_f es la verdadera tensión basada en el área original A_0 y el área después de la fractura A_f , y se proporciona por la Ecuación (1). Un experto en la materia puede estimar fácilmente el límite de ductilidad de reducción para un material metálico particular desde la Ecuación (1) y, por tanto, los límites de ductilidad de reducción para materiales metálicos específicos no necesitan incluirse en este caso.

$$\text{Ecuación (1): } \epsilon_f = \ln (A_0/A_f)$$

Después de la forja en prensa de troquel abierto 102 de la pieza de trabajo de material metálico a una temperatura de forja en una primera dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico, la pieza de trabajo se forja en prensa de troquel abierto hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico 104 una o más veces a la temperatura de forja en la primera dirección de forja hasta que una cantidad total de tensión en la primera dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura. La pieza de trabajo rota 106 entonces un grado de rotación deseado en preparación para la siguiente pasada de forja.

Se reconocerá que un grado deseado de rotación se determina por la geometría de la pieza de trabajo. Por ejemplo, una pieza de trabajo en la forma de un cilindro octagonal puede forjarse en cualquier cara, luego rotar 90° y forjarse, luego rotar a 45° y forjarse y luego rotar a 90° y forjarse. Para estimar la hinchazón de los lados del cilindro octagonal, el cilindro octagonal puede cepillarse rotando 45° y cepillándose, luego rotar 90° y cepillarse, luego rotar 45° y cepillarse y luego rotar 90° y cepillarse. Como se entenderá por los expertos en la materia, el término "cepillado" y sus formas, como se usan en este caso, se refieren a alisar, aplanar o acabar una superficie de pieza de trabajo de material metálico aplicando carreras de forja en prensa de troquel abierto ligeras a superficies de la pieza de trabajo metálica para llevar la pieza de trabajo (por ejemplo, palanquilla o barra) a la configuración y dimensión deseadas. Un experto en la materia puede determinar fácilmente el grado deseado de rotaciones para piezas de trabajo con cualquier forma en sección transversal particular, tal como por ejemplo redonda, cuadrada o rectangular en sección transversal.

Después de rotar 106 la pieza de trabajo de material metálico un grado deseado de rotación, la pieza de trabajo se forja en prensa de troquel abierto 108 a la temperatura de forja en una segunda dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico. La forja en prensa de troquel abierto de la pieza de trabajo se repite 110 hasta el límite de ductilidad de reducción una o más veces a la temperatura de forja en la segunda dirección de forja hasta que una cantidad total de tensión en la segunda dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura en el material metálico.

Las etapas de rotación, forja en troquel abierto y repetición de la forja en troquel abierto se repiten 112 en una tercera dirección y opcionalmente una o más direcciones adicionales hasta que todas las caras se han forjado a un tamaño de manera que una cantidad total de tensión que es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura se transmite a todo el volumen, o a través de la pieza de trabajo. Para cada una de la tercera dirección o una o más direcciones adicionales en las que el refinamiento de microestructura necesita activarse en ese punto en el proceso, la forja en prensa de troquel abierto se repite hasta el límite de ductilidad de reducción y la pieza de trabajo no se rota hasta que una cantidad suficiente de tensión se transmite en esa dirección específica. Y para cada una de las direcciones tercera y una o más direcciones adicionales en las que solo el control de forma o cepillado se necesita, la forja en prensa de troquel abierto se realiza solo hasta el límite de ductilidad de reducción. Un experto en la materia, al leer la presente descripción, puede determinar fácilmente los grados deseados de rotación y el número de direcciones de forja requeridos para trabajar una geometría específica de pieza de trabajo usando los métodos aquí descritos.

Las realizaciones de métodos de acuerdo con la presente divulgación difieren por ejemplo de los métodos de trabajo que aplican tensión para formar una losa a partir de una pieza de trabajo que tiene una sección transversal octagonal o redonda. Por ejemplo, en lugar de continuar trabajando para proporcionar un producto plano, afilando solo para controlar la anchura, en realizaciones no limitantes de acuerdo con la presente divulgación, unas pasadas repetidas de forma similar se toman en lados adicionales de la pieza de trabajo para mantener una forma algo isotrópica, que no se desvía sustancialmente de la forma final de destino, que puede por ejemplo ser una palanquilla o barra octagonal, redonda, cuadrada o rectangular.

En casos donde debe transmitirse una tensión redundante grande, el método de extracción de acuerdo con la presente divulgación puede combinarse con recalcados. Múltiples recalcados y extracciones dependen de la repetición de un patrón de tamaños y formas recurrentes. Una realización particular de la invención implica un híbrido de un octágono y una sección transversal RCS que pretende maximizar la tensión transmitida en dos ejes durante las extracciones, alternando las direcciones de las caras y diagonales en cada ciclo de recalcado y extracción. Esta realización no limitante emula la manera en la que la tensión se transmite en muestras MAF similares a un cubo, mientras se permite aumentar la escala a tamaños industriales.

Por consiguiente, como se muestra en la FIGURA 2, en una realización no limitante de un método de forjado por recalcado y forjado por extracción de acuerdo con la presente divulgación, la forma en sección transversal especial 200 de una palanquilla es un híbrido de un octágono y un RCS, aquí denominado forma de octágono-RCS híbrida. En una realización no limitante, cada etapa de forja por extracción termina en una forma de octágono-RCS híbrida recurrente antes de un nuevo recalcado. Para facilitar el recalcado, la longitud de la pieza de trabajo puede ser menor que tres veces el tamaño mínimo de cara a cara del octágono-RCS híbrido. Un parámetro clave en esta forma híbrida es la relación de tamaños entre, por un lado, las caras de 0° y 90° del RCS (flecha etiquetada D en la FIGURA 2) y, por otro lado, las caras diagonales a 45° y 135° (flecha etiquetada D_{diag} en la FIGURA 2), lo que hace que parezca un octágono. En una realización no limitante, esta relación puede establecerse en relación con la reducción de recalcado de manera que el tamaño de las diagonales de 45°/135° (D_{diag}) antes del recalcado es aproximadamente el mismo tamaño de las diagonales de 0°/90° (D) después del recalcado.

En un cálculo a modo de ejemplo no limitante de la forma de octágono-RCS híbrida, se considera una reducción de recalcado de U (o como un porcentaje (100 X U)). Después de la forja de recalcado de la reducción U, el tamaño diagonal se convierte en:

$$\frac{D_{diag}}{\sqrt{1-U}} = \frac{\beta D}{\sqrt{1-U}}$$

Después, la reducción desde la nueva diagonal a la cara se define como R y:

$$1 - R = \frac{D}{\beta D / \sqrt{1-U}} = \frac{\sqrt{1-U}}{\beta}$$

La reorganización proporciona:

$$\beta = \frac{\sqrt{1-U}}{1-R}$$

Después del recalado, el tamaño entre las caras principales es:

5
$$\frac{D}{\sqrt{1-U}}$$

Por lo que la reducción en las caras para convertirse en la nueva diagonal es

$$r = 1 - \frac{D_{diag}}{D / \sqrt{1-U}} = 1 - \beta \sqrt{1-U} = 1 - \frac{1-U}{1-R}$$

10 Esto implica que para definir la reducción r (positiva), U debe ser mayor que o igual a R. En el caso donde U=R, en teoría, ningún trabajo sería necesario en las caras para convertirse en las nuevas diagonales. En la práctica, sin embargo, la forja tendrá como resultado alguna hinchazón en las caras, y la forja será necesaria.

15 Usando estas ecuaciones, una realización no limitante de acuerdo con la presente divulgación considera la situación en la que D = 610 mm (24 pulgadas), U=26 % y R=25 %.

$$\beta = \frac{\sqrt{0,74}}{0,75} \sim 1,147$$

Esto proporciona:

20 Después la dimensión diagonal es:

$$D_{diag} = \beta D \sim 1,147 \times 610 \text{ mm (24 pulgadas)} \sim 700 \text{ mm (27,5 pulgadas)}, \text{ y:}$$

$$r = 1 - \frac{0,74}{0,75} \sim 1,3\%$$

25 Sin embargo, parte del trabajo de reducción en las diagonales se hincha sobre las caras, por lo que la reducción colocada para formar y controlar el tamaño de las nuevas diagonales en realidad debe ser mayor que 1,3 %. La programación de forjado necesaria para controlar las caras se define simplemente como unas pocas pasadas para limitar la hinchazón y controlar el tamaño de las nuevas diagonales.

30 Un ejemplo no limitante de una forja en troquel abierto de paso dividido 300 se ilustra esquemáticamente en la FIGURA 3A a la FIGURA 3E. En referencia a la FIGURA 3A, una pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS que comprende un material metálico difícil de forjar se proporciona y se forja por recalado en troquel abierto 302. Las dimensiones de la pieza de trabajo antes de la forja por recalado se ilustran por las líneas discontinuas 304, y las dimensiones de la pieza de trabajo después de la forja por recalado se ilustran por la línea continua 306. Las caras que representan la porción RCS inicial de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS se etiquetan en las FIGURAS 3A-E como 0, 90, 180 y 270. La dirección Y de la pieza de trabajo está en la dirección que es perpendicular a las caras de grados 0 y 180. La dirección X de la pieza de trabajo está en la dirección perpendicular a las caras de grados 90 y 270. Las caras que representan las porciones de octágono diagonal inicial de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS se etiquetan en las FIGURAS 3A-E como 45, 135, 225 y 315. La dirección X' diagonal de la pieza de trabajo está en la dirección perpendicular a las caras de grados 45 y 225. La dirección Y' diagonal de la pieza de trabajo está en la dirección perpendicular a las caras de grados 135 y 315.

45 Después de la forja de recalado, la pieza de trabajo rota (flecha 308) para extracción en troquel abierto en una primera cara diagonal (dirección X') y específicamente en la presente realización rota (flecha 308) a la cara diagonal en 45 grados para la forja de extracción. La pieza de trabajo se forja entonces por extracción de múltiples pasadas (flecha 310) en la cara diagonal hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura sin pasar el límite de ductilidad de reducción. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

En referencia a la FIGURA 3B, la pieza de trabajo después de la forja de extracción de múltiples pasadas en la cara

diagonal en 45 grados se representa por el número de referencia 312 (no se muestra a escala). La pieza de trabajo rota 90 grados (flecha 314), en esta realización particular, a la segunda cara diagonal 135 (dirección Y') para la forja de extracción de múltiples pasadas 316. La pieza de trabajo se forja entonces por extracción de múltiples pasadas (flecha 316) en la cara diagonal hasta el umbral de tensión para el inicio del refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

En referencia a la FIGURA 3C, en una realización no limitante, la pieza de trabajo se forja por recalado 318. Las dimensiones de la pieza de trabajo antes de la forja por recalado se ilustran por las líneas discontinuas 320, y las dimensiones de la pieza de trabajo después de la forja por recalado se ilustran por las líneas continuas 322.

Después de la forja por recalado, la pieza de trabajo rota (flecha 324) para la extracción en troquel abierto en una primera cara RCS, y específicamente en la presente realización rota (flecha 324) a la cara diagonal de 180 grados (primera cara RCS; dirección Y) para forja de extracción. La pieza de trabajo se forja entonces por extracción de múltiples pasadas (flecha 326) en la primera cara RCS hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

En referencia a la FIGURA 3D, la pieza de trabajo después de la forja de extracción de múltiples pasadas en la cara de 180 grados se representa por el número de referencia 328 (no se dibuja a escala). La pieza de trabajo rota 90 grados (flecha 330), en esta realización específica, a la segunda cara RCS de 270 grados (dirección X) para la forja de extracción de múltiples pasadas 332. La pieza de trabajo se forja entonces por extracción de múltiples pasadas (flecha 322) en la segunda cara RCS hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura. Cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico.

En referencia a la FIGURA 3E, la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS 334 forjada de acuerdo con la realización no limitante aquí descrita antes se ve como teniendo sustancialmente las mismas dimensiones que la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS original. La pieza de trabajo final forjada comprende una microestructura refinada de grano. Esto tiene como resultado (1) los recalados, que constituyen reducciones a lo largo del eje Z de la pieza de trabajo, seguido por múltiples extracciones en los ejes X' (número de referencia 312), Y' (número de referencia 316), Y (número de referencia 326) y X (número de referencia 332); (2) el hecho de que cada pasada de la múltiple extracción se hizo hasta el límite de ductilidad de reducción; y (3) el hecho de que las múltiples extracciones en cada eje proporcionaron una tensión total hasta el umbral de tensión requerido para el refinamiento de microestructura. En una realización no limitante de acuerdo con la presente divulgación, el forjado por recalado comprende forjado en prensa de troquel abierto hasta una reducción en longitud que es menor que el límite de ductilidad del material metálico, y el forjado transmite suficiente tensión para iniciar el refinamiento de microestructura en la dirección de forja por recalado. Normalmente, el recalado se transmitirá en solo una reducción ya que los recalados se realizan normalmente en índices de tensión más lentos en los que el propio límite de ductilidad tiende a ser mayor que a índices de tensión mayores usados durante extracciones. Pero puede dividirse en dos o más reducciones con un recalentamiento intermedio si la reducción supera el límite de ductilidad.

Se conoce que los troqueles Vee crean naturalmente una hinchazón lateral significativa en la primera pasada de una reducción. Una realización no limitante de un método de paso dividido se incluye después de una rotación de 90°, la reducción se realiza primero hasta el tamaño original, y solo entonces se adopta la reducción. Por ejemplo, desde 510 mm (20 pulgadas) a 410 mm (16 pulgadas) con una pasada máxima de 50 mm (2 pulgadas), se puede adoptar una reducción de 460 mm (18 pulgadas) en el primer lado, luego rotar 90° y tomar una reducción de 510 mm (20 pulgadas) para controlar la hinchazón, después adoptar otra reducción en el mismo lado a 460 mm (18 pulgadas), y luego de nuevo otra reducción a 410 mm (16 pulgadas). La pieza de trabajo rota 90° y una reducción a 460 mm (18 pulgadas) se realiza para controlar la hinchazón, y luego una nueva reducción a 410 mm (16 pulgadas). La pieza de trabajo rota 90° y una reducción a 460 mm (18 pulgadas) se toma para controlar la hinchazón, y luego de nuevo a 410 mm (16 pulgadas) como nueva reducción. En ese punto un par de rotaciones asociadas con el cepillado y pasadas a 410 mm (16 pulgadas) deberían completar un proceso que asegura que no más de una reducción de 50 mm (2 pulgadas) se adopte en cualquier pasada.

De acuerdo con un aspecto de la presente divulgación, el material metálico procesado de acuerdo con realizaciones no limitantes en este caso comprende una de una aleación de titanio y una aleación de níquel. En algunas realizaciones no limitantes, el material metálico comprende una superaleación con base de níquel, tal como por ejemplo una aleación Waspaloy® (UNS N07001), ATI 718Plus® (UNS N07818) y Aleación 720 (UNS N07720). En algunas realizaciones no limitantes, el material metálico comprende una aleación de titanio, o una de una aleación de titanio alfa-beta y una aleación de titanio metaestable beta. En realizaciones no limitantes, una aleación de titanio alfa-beta procesada por realizaciones de los métodos divulgados en este caso comprende una de una aleación Ti-6Al-4V (UNS R56400), una aleación Ti-6Al-4V ELI (UNS R56401), una aleación Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (UNS R56260), una aleación Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (UNS R54620), una aleación Ti-10V-2Fe-3Al (AMS 4986) y una aleación Ti-4Al-2,5V-1,5Fe (UNS 54250).

En una realización no limitante de acuerdo con los métodos de forja de paso dividido de la presente divulgación, la forja en prensa de troquel abierto comprende forjar a una temperatura de forja que está dentro de un intervalo de temperatura que abarca 595 °C (1100 °F) hasta una temperatura de 28 °C (50 °F) por debajo de una temperatura beta-transus de la aleación de titanio alfa-beta. En otra realización no limitante, un método de acuerdo con la

5 presente divulgación comprende además uno de recalentar o recocer la pieza de trabajo intermedia en cualquiera de las etapas de forja de prensa en troquel abierto.

Se reconocerá que está dentro del alcance de los métodos de la presente divulgación recalentar la pieza de trabajo intermedia en cualquiera de las etapas de forja de prensa de paso abierto. También se reconocerá que está dentro

10 del alcance de los métodos de la presente divulgación recocer la pieza de trabajo intermedia en cualquiera de las etapas de forja de prensa de paso abierto. Los detalles específicos de recalentar y recocer un material metálico se conocen o pueden confirmarse rápidamente para los expertos en la materia y por tanto no necesitan especificarse en este caso.

Los ejemplos que siguen pretenden describir además algunas realizaciones no limitantes, sin limitar el alcance de la presente invención. Los expertos en la materia apreciarán que las variaciones de los siguientes ejemplos son posibles dentro del alcance de la invención, que se define solo por las reivindicaciones.

20 Ejemplo 1

Una palanquilla octagonal de 610 mm (24 pulgadas) que comprende una aleación Ti-4Al-2,5V-1,5Fe se calienta a una temperatura de forja de 870 °C (1600 °F). Un límite de ductilidad de reducción de la aleación a la temperatura de forja se estima como al menos 50 mm (2 pulgadas) por reducción y no toleraría mucha más reducción de manera repetida sin una fractura extensiva a 50 mm (2 pulgadas) por reducción. La palanquilla se forja en prensa de troquel abierto en una primera dirección, en cualquier cara de la palanquilla octagonal, hasta 560 mm (22 pulgadas). La palanquilla se forja entonces en prensa de troquel abierto en la primera dirección a 510 mm (20 pulgadas). La palanquilla rota 90° a una segunda dirección para la forja en prensa de troquel abierto. Aunque la dimensión de la palanquilla octagonal original era 610 mm (24 pulgadas), debido a la hinchazón de las caras alternas durante la forja en la primera dirección, la palanquilla se forja en prensa de troquel abierto en la segunda dirección a 610 mm (24 pulgadas). La palanquilla se forja en prensa de troquel abierto en la segunda dirección dos o más veces a 560 mm (22 pulgadas), y luego a 510 mm (20 pulgadas). La palanquilla se recalienta a la temperatura de forja. La palanquilla rota 45° y luego se forja en paso dividido a 50 mm (2 pulgadas) por reducción en la tercera dirección de forja a 610 mm (24 pulgadas), después a 560 mm (22 pulgadas) y luego a 510 mm (20 pulgadas). La palanquilla rota 90° y luego se forja con paso dividido a 50 mm (2 pulgadas) por reducción en otra dirección de forja, de acuerdo con la presente divulgación, a 610 mm (24 pulgadas), luego a 560 mm (22 pulgadas) y luego a 510 mm (20 pulgadas).

La palanquilla luego se cepilla por las siguientes etapas: rotar la palanquilla 45° y cuadrar el lado a 510 mm (20 pulgadas) usando la forja en prensa de troquel abierto; rotar la palanquilla 90° y cuadrar el lado a 510 mm (20 pulgadas) usando la forja de prensa en troquel abierto; rotar la palanquilla 45° y cuadrar el lado a 510 mm (20 pulgadas) usando la forja en prensa de troquel abierto; y rotar la palanquilla 90° y cuadrar el lado a 510 mm (20 pulgadas) usando la forja en prensa de troquel abierto. Este método asegura que ninguna pasada única transmita un cambio en dimensión de más de 50 mm (2 pulgadas), lo que es el límite de ductilidad de reducción, mientras que cada reducción total en cada dirección deseada es al menos 100 mm (4 pulgadas), lo que corresponde al umbral de tensión requerido para iniciar el refinamiento de microestructura en la microestructura de la aleación.

Como parte de una secuencia de múltiples extracciones y recalados, en el método de forja en prensa de paso dividido del presente Ejemplo, la microestructura de la aleación Ti-4Al-2,5V-1,5Fe se compone de partículas de fase alfa equiaxiales o globularizadas con un tamaño de grano promedio en el intervalo de 1 µm a 5 µm.

50 Ejemplo 2

Una palanquilla híbrida de octágono-RCS de un material metálico que comprende una aleación Ti-6Al-4V se proporciona. La forma híbrida de octágono-RCS es un RCS de 610 mm (24 pulgadas) con diagonales de 685 mm (27,5 pulgadas) que forman un octágono. La longitud se define para no ser mayor de 3x610 mm o 1830 mm (3 x 24 pulgadas o 72 pulgadas), y en este ejemplo la palanquilla es de 1780 mm (70 pulgadas) de longitud. Para iniciar el refinamiento de microestructura, la palanquilla se forja por recalado a 870 °C (1600 °F) a un 26 por ciento de reducción. Después de la reducción por recalado, la palanquilla tiene aproximadamente 1295 mm (51 pulgadas) de largo y su sección transversal híbrida de octágono-RCS es aproximadamente de 685 mm (27,9 pulgadas) x 810 mm (32 pulgadas). La palanquilla se forja por extracción por una reducción de las diagonales de 810 mm (32 pulgadas) de vuelta a caras de 610 mm (24 pulgadas), lo que es una reducción de 200 mm (8 pulgadas), o 25% de la altura diagonal. Al hacer esto, se espera que la otra diagonal se hinche más allá de 810 mm (32 pulgadas). En el presente ejemplo, una estimación razonable para el límite de ductilidad de reducción a la temperatura de forja en el intervalo de 870 °C (1600 °F) es que ninguna pasada debería superar una reducción de 65 mm (2,5 pulgadas). Ya que las reducciones desde 810 mm (32 pulgadas) a 610 mm (24 pulgadas) en las diagonales no podrían transmitirse a la vez en la forja de prensa en troquel abierto dado que esto supera el límite de ductilidad de reducción del material, el método de paso dividido de acuerdo con la presente divulgación se empleó para esta realización no limitante

específica.

5 Para forjar las diagonales antiguas hasta tener las nuevas caras, la cara alta de 810 mm (32 pulgadas) se forja en prensa abierta hasta 750 mm (29,5 pulgadas), y luego se forja en prensa abierta a 685 mm (27,0 pulgadas). La palanquilla híbrida de octágono-RCS se rota 90°, se forja en prensa de troquel abierto hasta 775 mm (30,5 pulgadas) y luego se forja en prensa de troquel abierto a 710 mm (28 pulgadas). La palanquilla híbrida de octágono-RCS se forja entonces en las caras antiguas para controlar el nuevo tamaño diagonal. La palanquilla híbrida de octágono-RCS rota 45° y se forja en prensa de troquel abierto hasta 685 mm (27 pulgadas); y luego rota 90° y se forja en prensa de troquel abierto a 690 mm (27,25 pulgadas). La palanquilla híbrida de octágono-RCS se forja
10 entonces en prensa de troquel abierto en las diagonales antiguas por lo que se convierten en las nuevas caras rotando la palanquilla híbrida de octágono-RCS 45° y forjando en prensa de troquel abierto hasta 645 mm (25,5 pulgadas), seguido por una forja en prensa de troquel abierto de la misma cara a 590 mm (23,25 pulgadas). La palanquilla híbrida de octágono-RCS rota 90° y se forja en prensa a 710 mm (28 pulgadas), luego se forja en prensa de troquel abierto a 645 mm (25,5 pulgadas) en otro paso dividido, y luego se forja en prensa de troquel abierto a
15 590 mm (23,25 pulgadas) en un paso dividido adicional en la misma cara. La palanquilla híbrida de octágono-RCS rota 90° y luego se forja en prensa de troquel abierto a 610 mm (24 pulgadas), y luego rota 90° y se forja hasta 610 mm (24 pulgadas). Finalmente las nuevas diagonales de la palanquilla híbrida de octágono-RCS se cepillan rotando la palanquilla híbrida de octágono-RCS 45° y se forjan en prensa de troquel abierto hasta 690 mm (27,25 pulgadas), seguido por la rotación de la palanquilla híbrida de octágono-RCS 90° y la forja en prensa de troquel
20 abierto a 700 mm (27,5 pulgadas).

25 Como parte de una secuencia de múltiples extracciones y recalcados en el método de forja de prensa de paso dividido del presente Ejemplo, la microestructura de la aleación Ti-6Al-4V se compone de partículas de fase alfa equiaxiales o globularizadas que tienen un tamaño de grano promedio en el intervalo de 1 µm a 5 µm.

30 Se entenderá que la presente descripción ilustra aquellos aspectos de la invención relevantes para un claro entendimiento de la invención. Algunos aspectos que serían aparentes para los expertos en la materia y, por tanto, no facilitarían un mejor entendimiento de la invención no se han presentado para simplificar la presente descripción. Aunque solo un número limitado de realizaciones de la presente invención se describen necesariamente en este caso, un experto en la materia, tras considerar la anterior descripción, reconocerá que muchas modificaciones y variaciones de la invención pueden emplearse dentro del alcance de las siguientes reivindicaciones.

REIVINDICACIONES

1. Un método de forja de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar refinamiento de microestructura, comprendiendo el método:

5 forjar en prensa de troquel abierto la pieza de trabajo a una temperatura de forja en una primera dirección de forja hasta un límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 repetir la forja en prensa de troquel abierto de la pieza de trabajo en la primera dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción una o más veces a la temperatura de forja hasta que una cantidad total de tensión transmitida en la primera dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura;
 10 rotar la pieza de trabajo un grado deseado de rotación;
 forjar en prensa de troquel abierto la pieza de trabajo a la temperatura de forja en una segunda dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 repetir la forja en prensa de troquel abierto de la pieza de trabajo en una segunda dirección de forja hasta el límite de ductilidad de reducción una o más veces a la temperatura de forja hasta que una cantidad total de tensión transmitida en la segunda dirección de forja es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura; y
 15 repetir la etapa de rotación, la etapa de forja en prensa de troquel abierto y la etapa de repetición de forja en prensa de troquel abierto en una tercera dirección y opcionalmente una o más direcciones de forja adicionales hasta que una cantidad total de tensión que es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura se transmite en un volumen total de la pieza de trabajo, en donde la pieza de trabajo no rota hasta que una cantidad total de tensión que es suficiente para iniciar el refinamiento de microestructura se transmite en la tercera dirección y una cualquiera o más direcciones adicionales.

2. Un método de forja en troquel abierto de paso dividido de una pieza de trabajo de material metálico para iniciar refinamiento de microestructura, que comprende:

25 proporcionar una pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS que comprende un material metálico;
 forjar por recalado de troquel abierto la pieza de trabajo;
 30 rotar la pieza de trabajo para forja de extracción en troquel abierto en una primera cara diagonal en una dirección X' de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS;
 forjar por extracción de múltiples pasadas la pieza de trabajo en la dirección X' hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura;
 en donde cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción de prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 35 rotar la pieza de trabajo para la extracción en troquel abierto en una segunda cara diagonal en una dirección Y' de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS;
 forjar por extracción de múltiples pasadas la pieza de trabajo en la dirección Y' hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura;
 en donde cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción de prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 40 rotar la pieza de trabajo para extracción en troquel abierto en una primera cara RCS en una dirección Y de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS;
 forjar por extracción de múltiples pasadas la pieza de trabajo en la dirección Y hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura;
 45 en donde cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción de prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 rotar la pieza de trabajo para extracción en troquel abierto en una segunda cara RCS en una dirección X de la pieza de trabajo híbrida de octágono-RCS;
 forjar por extracción de múltiples pasadas la pieza de trabajo en la dirección X hasta el umbral de tensión para iniciar el refinamiento de microestructura;
 50 en donde cada etapa de forja de extracción de múltiples pasadas comprende al menos dos etapas de forja de extracción en prensa abierta con reducciones hasta el límite de ductilidad de reducción del material metálico;
 repetir los ciclos de forja de extracción múltiple y recalado como se desee.

55 3. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el material metálico comprende una de una aleación de titanio y una aleación de níquel.

4. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, en donde el material metálico comprende una aleación de titanio.

60 5. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde la aleación de titanio comprende una de una aleación Ti-6Al-4V (UNS R56400), una aleación Ti-6Al-4V ELI (UNS R56401), una aleación Ti-6Al-2Sn-4Zr 6Mo (UNS R56260), una aleación Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (UNS R54620), una aleación Ti-10V-2Fe-3Al (AMS 4986) y una aleación Ti-4Al-2,5V-1,5Fe (UNS 54250).

65 6. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el material metálico comprende una de una aleación de

titanio alfa-beta y una aleación de titanio metaestable beta.

7. El método de acuerdo con la reivindicación 4, en donde el material metálico comprende una aleación de titanio alfa-beta.

5 8. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la aleación de titanio alfa-beta comprende una aleación Ti-4Al-2,5V-1,5Fe (UNS 54250).

10 9. El método de acuerdo con la reivindicación 3, donde el material metálico comprende una de una aleación Waspaloy® (UNS N07001), una aleación ATI 718Plus® (UNS N07818) y una aleación 720 (UNS N07720).

15 10. El método de acuerdo con la reivindicación 7, en donde la temperatura de forja está dentro de un intervalo de temperatura que abarca desde 595 °C (1100 °F) hasta una temperatura de 28° (50 °F) por debajo de una temperatura beta-transus de la aleación de titanio alfa-beta.

11. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además recalentar la pieza de trabajo intermedia en cualquiera de las etapas de forja en prensa de troquel abierto.

20 12. El método de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2, que comprende además recocer la pieza de trabajo intermedia en cualquiera de las etapas de forja en prensa de troquel abierto.

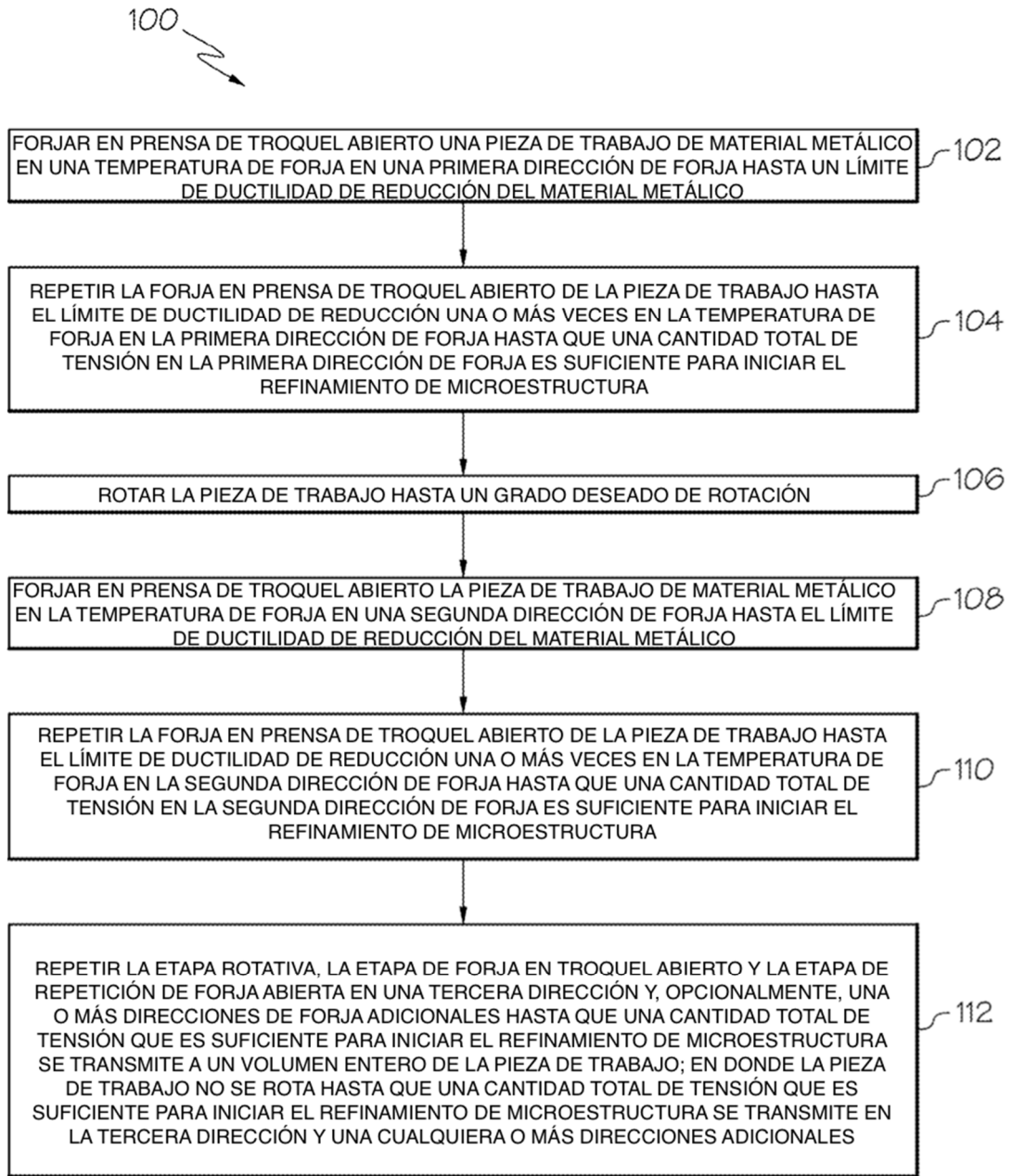


FIG. 1

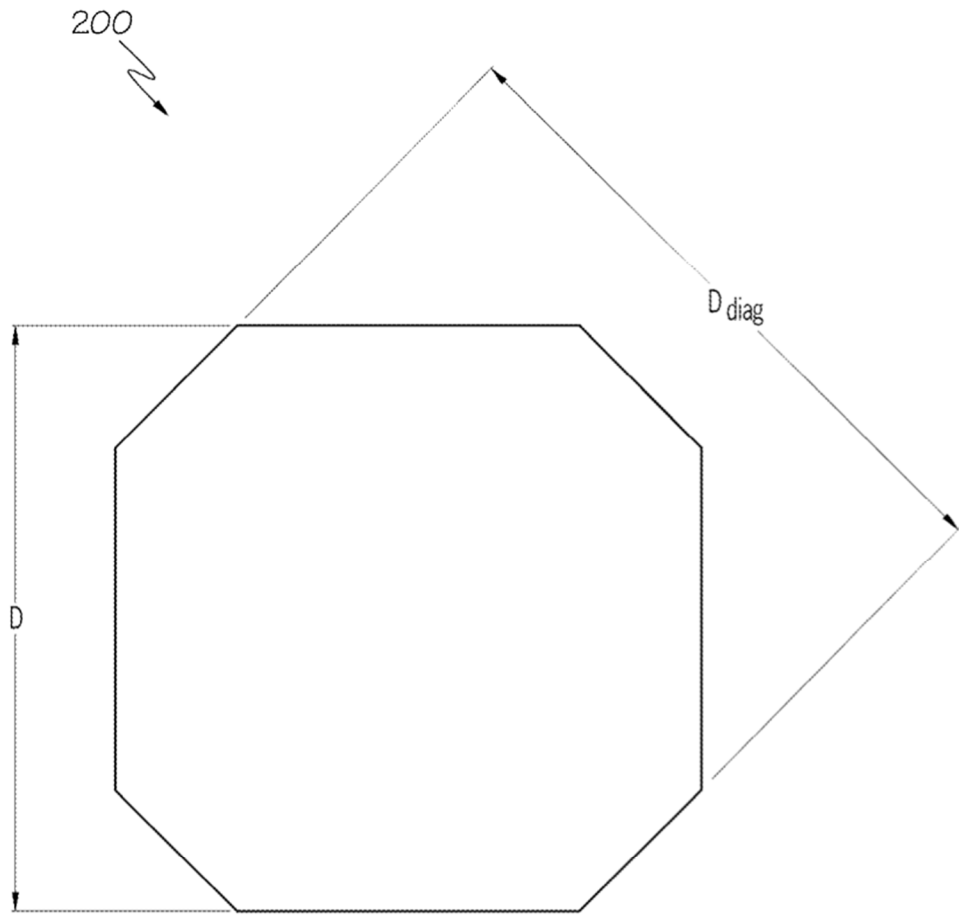


FIG. 2

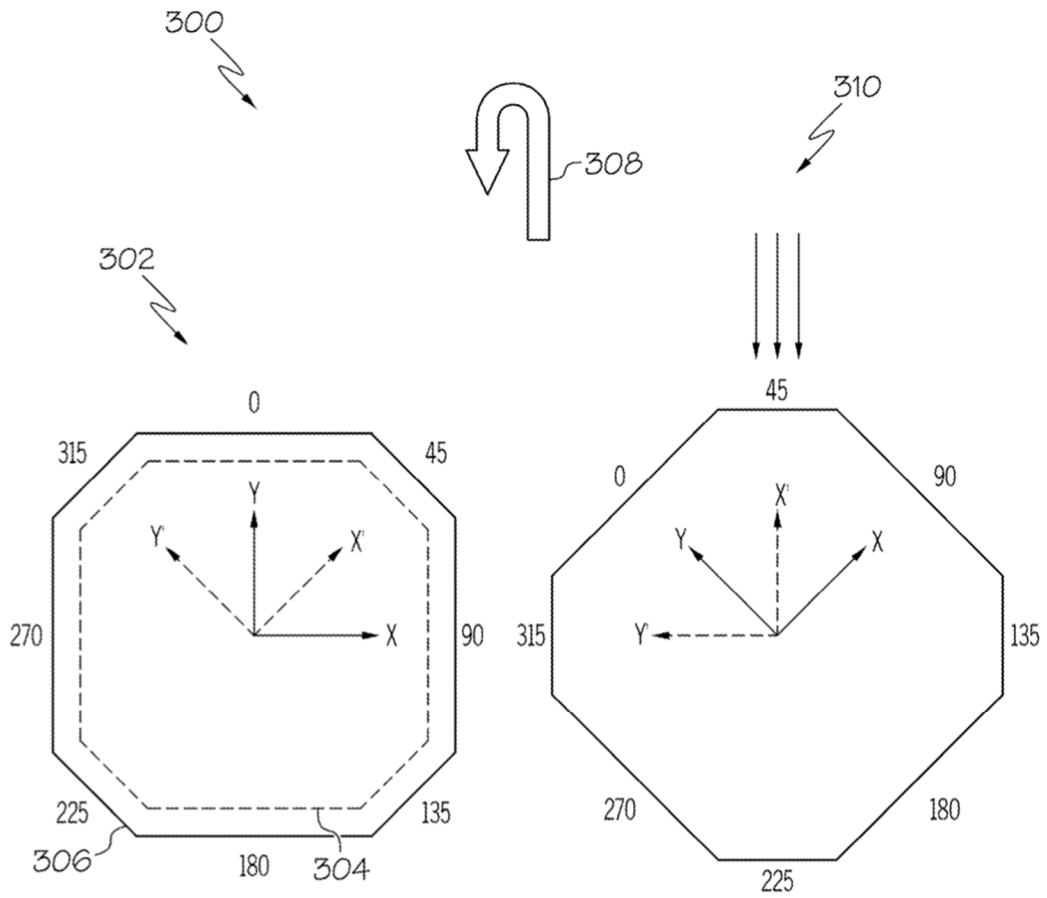


FIG. 3A

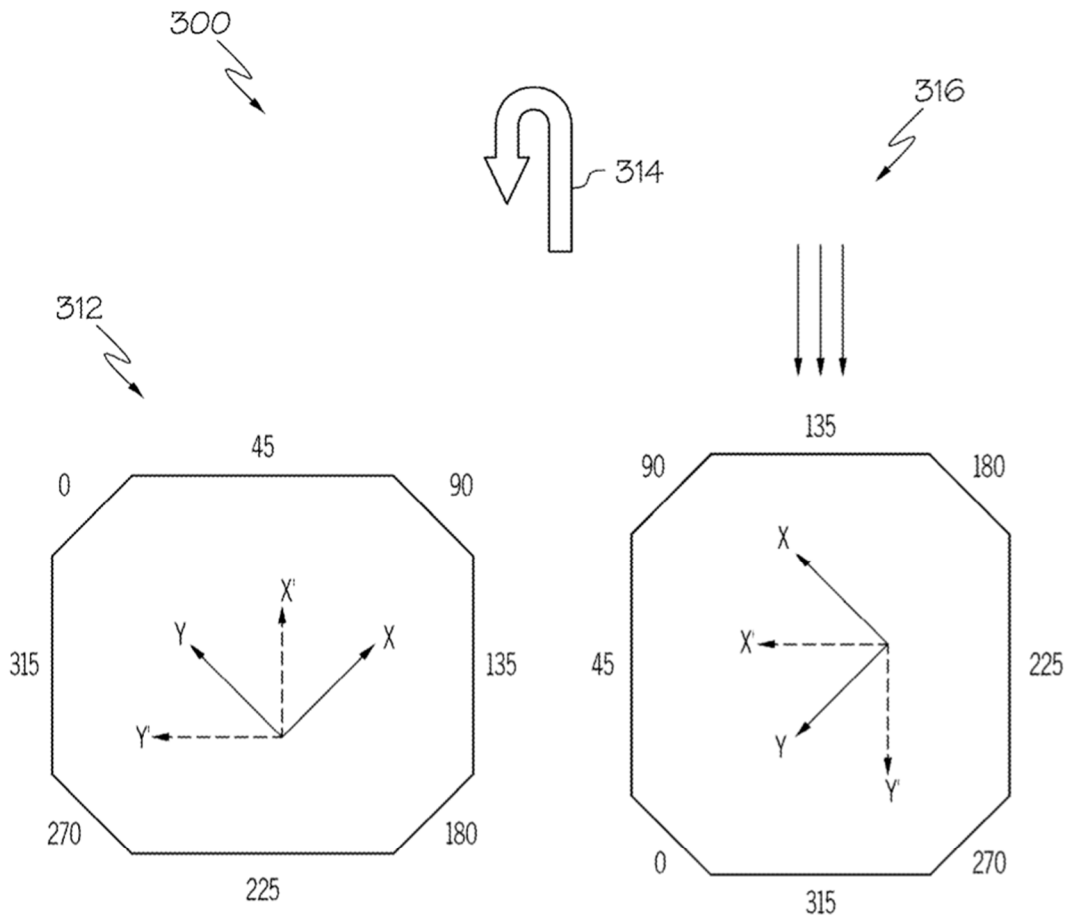


FIG. 3B

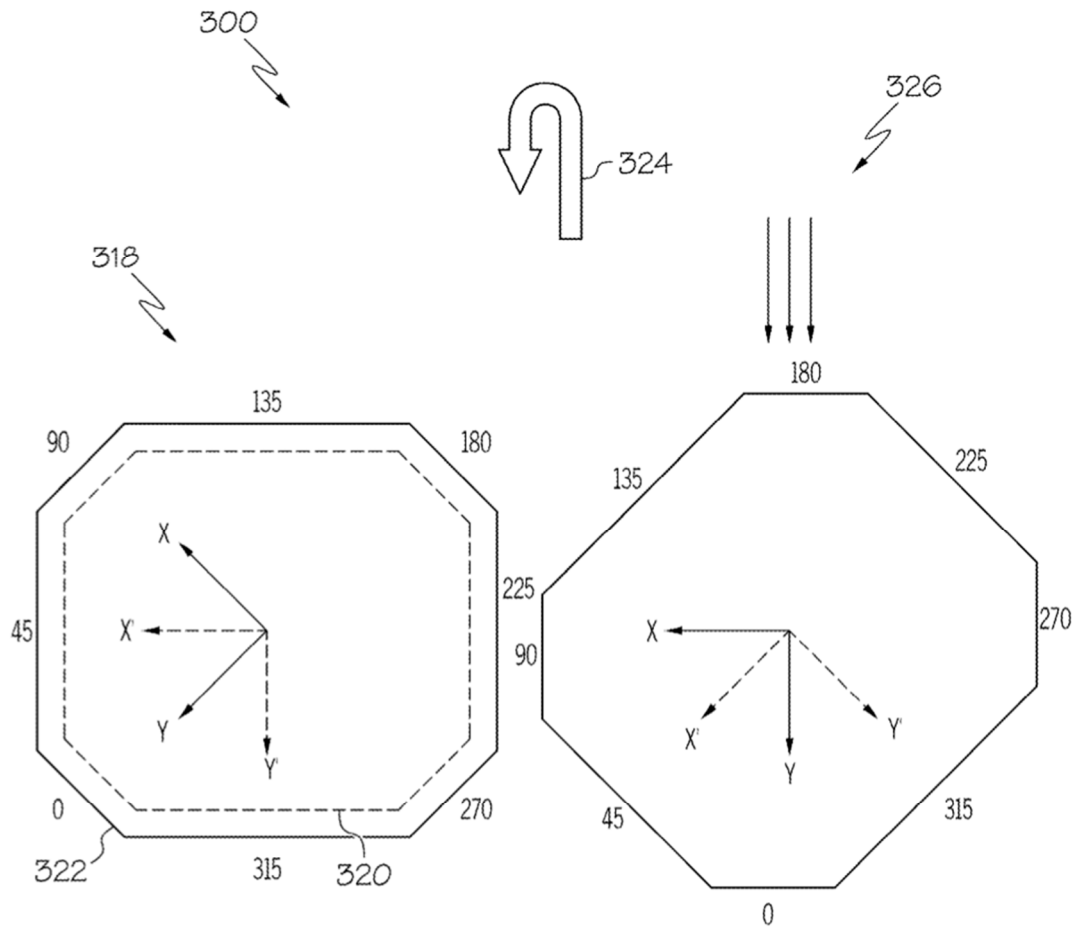


FIG. 3C

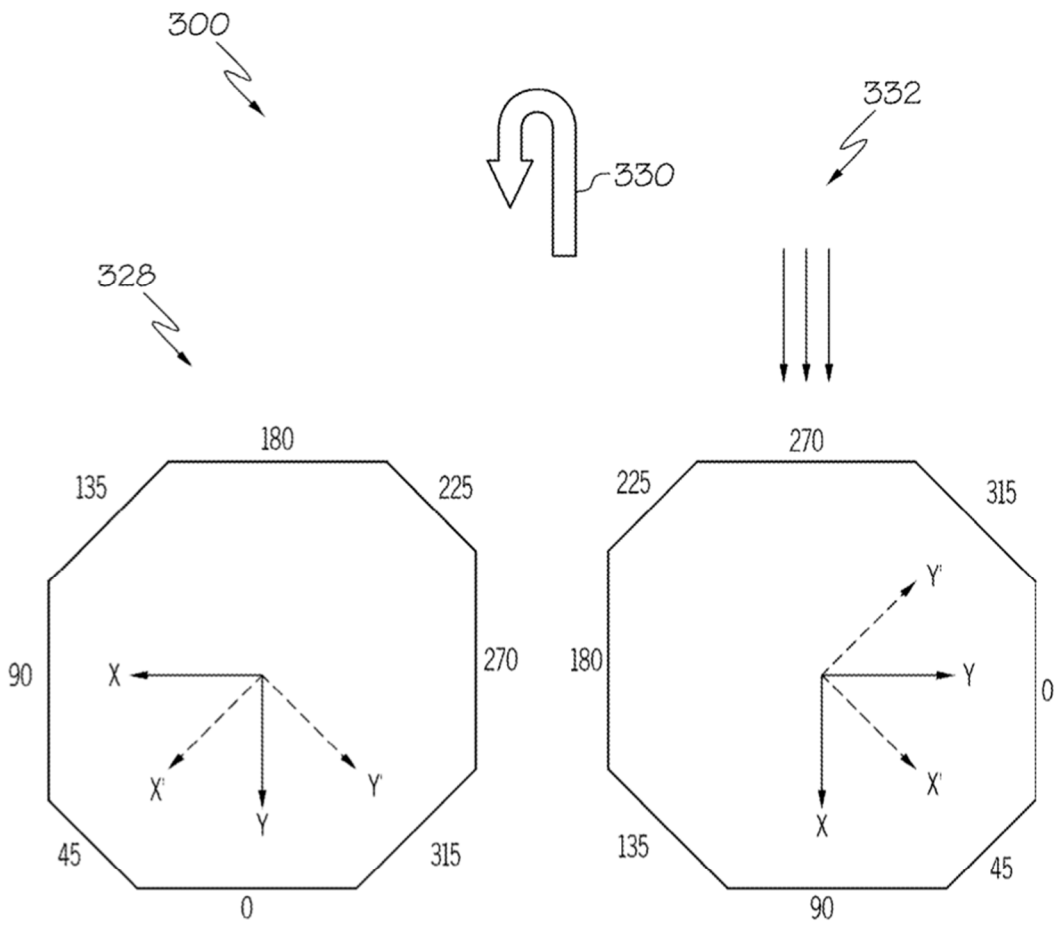
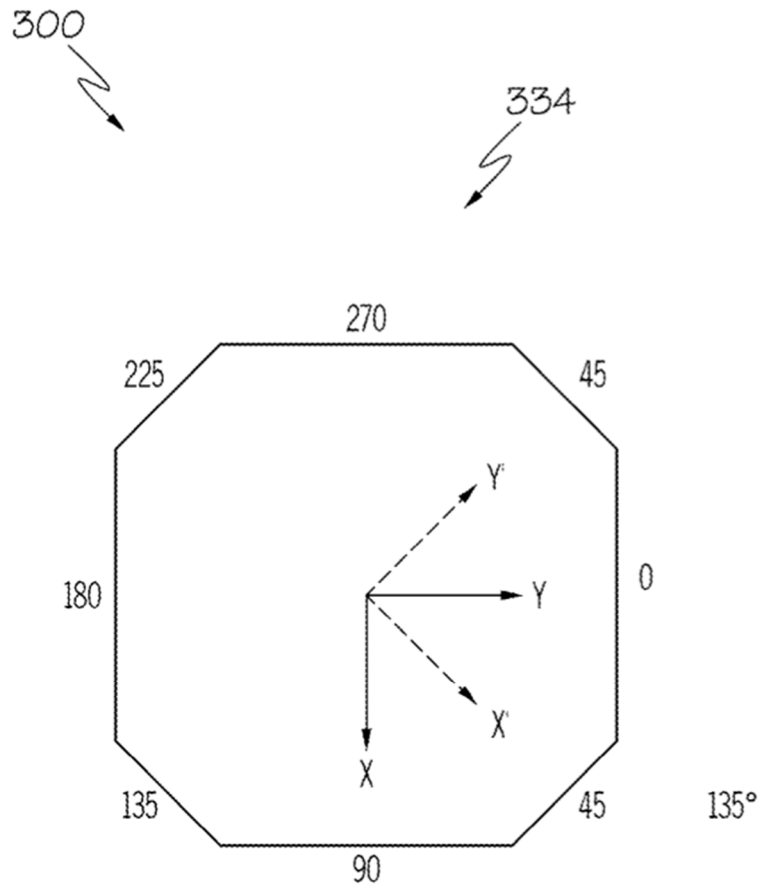


FIG. 3D



REPETIR CICLOS DE RECALCADO/EXTRACCION PARA REFINAMIENTO DE MICROESTRUCTURA ADICIONAL

336

FIG. 3E