

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 719 701**

51 Int. Cl.:

**C21D 9/08** (2006.01)

**C21D 7/12** (2006.01)

**B21B 21/00** (2006.01)

**B21C 37/00** (2006.01)

**B21B 1/00** (2006.01)

**B21B 17/06** (2006.01)

**B21B 19/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2016** **E 16382042 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **09.01.2019** **EP 3202925**

54 Título: **Tubos de acero inoxidable y método para su producción**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**12.07.2019**

73 Titular/es:

**TUBACEX, S.A. (50.0%)**  
**Tres cruces 8**  
**01400 Llodio, Alava, ES y**  
**IBF, S.P.A. (50.0%)**

72 Inventor/es:

**LÓPEZ, ALEJANDRA y**  
**FAINA, URBANO**

74 Agente/Representante:

**VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro**

ES 2 719 701 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

Tubos de acero inoxidable y método para su producción

### 5 **Campo técnico**

La presente invención se refiere a la producción de tubos fabricados de aleaciones de acero inoxidable, particularmente aleaciones de acero inoxidable austenítico-ferrítico tales como acero inoxidable dúplex y súper-dúplex, y el método para la producción de las mismas.

### 10 **Estado de la técnica**

Existen varias técnicas y procesos en el campo de la metalurgia para producir componentes hechos de varios metales y aleaciones. La selección del metal o aleación utilizada en estos componentes depende de la aplicación y de las condiciones a las que los componentes serán expuestos.

Un producto especialmente propenso a estar expuesto a condiciones severas es un tubo que, junto con otros tubos, forma un tubo para la transferencia de sustancias como, por ejemplo, petróleo y gas extraído del pozo. Como tal, estos tubos deben hacer frente a los altos niveles de presiones y tensiones. Estos niveles pueden ser incluso mayores cuando los tubos están bajo el agua, que puede ser el caso en, por ejemplo, equipos submarinos. Además de la alta presión, hay muchos agentes corrosivos y erosivos en el mar que corroen los tubos, lo que afecta a su integridad estructural y que pueden conducir al fallo de los tubos. Otro ejemplo de un entorno con condiciones extremas similares son los pozos.

Los tubos y tuberías que se utilizan o se encuentran en estos entornos adversos deberían presentar, entre otras cosas, gran fuerza y alta resistencia a la corrosión por agrietamiento y picaduras. Un conjunto de metales que puede presentar estas características son aleaciones de acero inoxidable, y más específicamente, aleaciones de acero inoxidable austenítico-ferrítico.

Pero no solo los tubos son propensos a sufrir fallos, también las uniones de los tubos son susceptibles a los fallos. En este sentido, la soldadura de los tubos entre sí a fin de formar un tubo es un proceso crítico: si las uniones entre los tubos no se sueldan adecuadamente, los defectos tales como la precipitación de fase pueden ocurrir y causar tensiones adicionales en los tubos que, a su vez, afectan negativamente a la resistencia a la corrosión. Además, el proceso de soldadura de tubos es particularmente costoso.

Un método común para la producción de tubos es la extrusión en caliente. La longitud de los tubos producidos, sin embargo, se limita en gran medida por la potencia máxima del pistón que presiona la pieza de trabajo en el troquel y el tamaño de la prensa de extrusión es grande. Por lo tanto la productividad de la maquinaria es baja y su eficacia se reduce.

La patente de Estados Unidos nº. 8.479.549 B1 se refiere a un método de producir de productos tubulares por fundición centrífuga trabajados en frío en el que la pieza de trabajo tubular fundida a partir de una aleación resistente a la corrosión, tiene el material de su diámetro interno eliminado, y después de un proceso de conformación de metal reduce las paredes de la pieza de trabajo tubular. Cuando el proceso de conformación de metal es conformación por estirado, las paredes de la pieza de trabajo pueden reducirse con varias pasadas debido a que la pieza de trabajo no es capaz de procesar grandes reducciones en una sola pasada, por tanto la reducción progresiva de las paredes puede estar provista de pasadas posteriores para la conformación por estirado. El documento WO2015/200325 divulga un método de formación de tubos de acero inoxidable sin costura mediante el método U-O.

Por lo tanto, sería conveniente producir tubos que puedan utilizarse en entornos caracterizados por condiciones exigentes, y que tengan, en la medida de lo posible, la finalidad de reducir el número de juntas y, además, los costes de la soldadura de los tubos. También sería conveniente hacer que el método para la producción de estos tubos sea tan eficaz como sea posible en términos de productividad.

### 55 **Descripción de la invención**

Los tubos de acero inoxidable y el método para la producción de los mismos divulgados en la presente invención pretenden resolver los inconvenientes de los tubos y los métodos de la técnica anterior.

60 Un primer aspecto de la invención se refiere a un método para producir un tubo a partir de una aleación de acero inoxidable. El método comprende las etapas:

- (a) trabajar en caliente una pieza fundida de acero inoxidable hasta convertirla en una pieza de trabajo de forma pretubular o en una barra cilíndrica;
- 65 (b) trepanar la barra cilíndrica o mecanizar la pieza de trabajo de forma pretubular para obtener una pieza de trabajo tubular; y

(c) trabajar en frío la pieza de trabajo tubular.

5 Una pieza de trabajo de forma pretubular es un tubo o una pieza de trabajo con una forma tubular que se mecaniza o conforma para obtener las dimensiones finales del tubo, mientras que una barra cilíndrica es una barra con una sección transversal redondeada que es, por ejemplo, circular u ovalada.

10 Un proceso de trabajo en caliente deforma plásticamente una pieza fundida de acero inoxidable convirtiéndola en una pieza de trabajo de forma pretubular o en una barra cilíndrica mientras cambia su microestructura y, por lo tanto, las propiedades de la pieza fundida.

15 La forma de la pieza fundida puede parecerse, por ejemplo, pero sin limitarse, a un lingote o una barra. La forma puede presentar geometrías regulares o irregulares, tales como, por ejemplo, prismas rectangulares, prismas hexagonales, prismas circulares, cilindros, etc.

20 Para que el proceso sea aplicado efectivamente a la pieza fundida, la pieza fundida de acero inoxidable se calienta a una temperatura preferentemente superior a su temperatura de recristalización. La pieza fundida se deforma a continuación plásticamente de manera que sus propiedades mecánicas se mejoran mejorado para la producción de tubos que se caracterizan por una forma alargada y paredes reducidas (es decir, finas).

25 La estructura interna de la pieza fundida ofrece normalmente cavidades, tamaños de granos y segregaciones variables en el acero inoxidable que aparecen durante su fundición. Por tanto, mientras se funde, las diferentes temperaturas presentes por todo el material, junto con el efecto de la gravedad, generan una estructura interna heterogénea en la forma de dichas cavidades, granos con diferente tamaño y forma, y segregación a macro escala y/o micro escala de los elementos de aleación.

30 El proceso de trabajo en caliente homogeneiza la microestructura de la pieza de trabajo o barra resultante. Por lo tanto, con el trabajo en caliente, la pieza fundida se compacta causando internamente cambios en la microestructura resultante. En particular, la pieza de trabajo o barra puede recristalizarse, es decir, una nueva estructura interna de cristales se puede conformar, generando granos finos que mejoran las propiedades mecánicas puesto que las tensiones internas desaparecen debido a la deformación. Una consecuencia del trabajo en caliente es que la pieza de trabajo o barra cuenta con una ductilidad mayor y, al final, más altas reducciones en frío se pueden aplicar en una única etapa, lo que conduce a la producción de tubos más largos.

35 El efecto del proceso de trabajo en caliente sobre la microestructura puede estimarse mediante una relación de deformación. La relación se define como la sección transversal original de la pieza fundida o pieza de trabajo dividida entre su sección transversal después del trabajo en caliente. Alcanzar una relación de deformación de aproximadamente 3 o más puede ser ventajoso en que un aumento en la tenacidad y la resistencia a la tracción de la pieza de trabajo o barra, en la dirección longitudinal, se consigue.

40 Un proceso de perforación o trepanado elimina una parte de la barra con un orificio que, generalmente, pasa a través de toda la barra. La parte eliminada puede corresponder sustancialmente a una parte central de al menos una cara o lado de la barra. En el caso de la pieza de trabajo de forma pretubular, su diámetro interno se mecaniza.

45 Después de trepanar la barra o mecanizar el diámetro interno de la pieza de trabajo de forma pretubular, se obtiene una pieza de trabajo tubular. Un proceso de trabajo en frío reduce la sección o área de la pieza de trabajo tubular a fin de alargar el tubo que se va a producir. El proceso, por tanto, redistribuye el acero inoxidable: la parte del acero que se retira de la pieza de trabajo en la dirección radial, que corresponde generalmente a las paredes del tubo producido, se añade a la pieza de trabajo en la dirección axial. La sección transversal se reduce alargando de este modo la tubería o tubo.

50 Puesto que la pieza de trabajo o barra se ha trabajado en caliente, su estructura interna más bien fina proporciona mejores condiciones -en comparación con las condiciones de la pieza fundida antes del trabajo en caliente- para el trabajo en frío. En consecuencia, el grado de reducción puede ser mayor que si no se realiza ningún trabajo en caliente. La reducción está directamente relacionada con la longitud alcanzable del tubo.

55 En las realizaciones preferidas de la invención, el método comprende además (d) templar la pieza de trabajo o barra, y la etapa (d) se realiza después de la etapa (a).

60 El templado de la pieza de trabajo de forma pretubular o de la barra cilíndrica con un líquido minimiza las transformaciones de fase, en particular en su superficie. El líquido puede reducir, por ejemplo, la formación de una fase de vapor en la superficie de la pieza de trabajo o barra que evite que se enfríe rápidamente. Con un proceso de temple, la pieza de trabajo o barra pueden mantener las propiedades mecánicas con las que cuenta después de un trabajo en caliente o proceso de recocido por solubilización, por ejemplo. El templado se realiza después del trabajo en caliente. En algunas realizaciones, la pieza de trabajo o barra se temple después de haberse sometido a un trabajo en caliente y a un tratamiento térmico tal como, por ejemplo, recocido por solubilización.

65

En estas realizaciones preferidas, el templado se realiza con agua a una temperatura no superior a 50 °C, y preferentemente no superior a 35 °C.

5 El líquido utilizado en la etapa de enfriamiento puede ser agua a una temperatura igual a o por debajo de 50 °C de tal manera que la pieza de trabajo o barra se pueden enfriar rápidamente. Preferentemente, el líquido está a una temperatura aún menor que este valor, tal como igual a o por debajo de 35 °C, y por lo tanto el enfriamiento de la pieza de trabajo o barra toma menos tiempo, y de ese modo sus propiedades mecánicas sufren menos cambios.

10 En las realizaciones preferidas de la invención, el método comprende además (e) fundir la pieza fundida de acero inoxidable. Además, en estas realizaciones, fundir la pieza fundida de acero inoxidable -etapa (e)- se realiza antes de trabajar en caliente la pieza fundida de acero inoxidable en una pieza de trabajo o barra -Etapa (a).

15 La pieza fundida que se trabaja en caliente en algunas realizaciones se funde por fusión de la aleación de acero inoxidable y vertiéndola en un molde. Las dimensiones de la pieza fundida producida, tanto en términos de su longitud como de su sección -o diámetro-, determinan las dimensiones máximas del tubo que puede producirse puesto que el acero inoxidable en la pieza fundida se redistribuirá a fin de formar el tubo, aunque una parte de dicha aleación puede perderse durante la producción del tubo, por ejemplo, durante el trepanado, mecanizado o trabajo en frío de la pieza de trabajo. Por lo tanto, la cantidad de aleación de acero inoxidable necesaria para la pieza fundida varía de acuerdo con las dimensiones del tubo que se va a producir.

20 En las realizaciones preferidas de la invención, la aleación de acero inoxidable es una aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico.

25 El acero inoxidable austenítico-ferrítico, incluyendo el acero inoxidable dúplex y acero inoxidable súper-dúplex, cuenta con una mayor resistencia que el acero inoxidable austenítico y el acero inoxidable ferrítico. Además, el acero inoxidable austenítico-ferrítico es más resistente a la corrosión por picaduras y grietas y a la corrosión por tensiones inducidas que los aceros inoxidables austeníticos o ferríticos. Esto hace que el acero inoxidable austenítico-ferrítico sea conveniente para los productos que han de colocarse en entornos con condiciones adversas, particularmente en pozos y bajo el agua (por ejemplo, en el fondo del mar), donde el nivel de presión y la cantidad de sustancias o agentes corrosivos es alto.

30 Sin embargo, el acero inoxidable austenítico-ferrítico presenta baja ductilidad y, por lo tanto, la conformación de productos con esta aleación requiere de fuerzas más grandes que la conformación de productos de acero inoxidable austenítico o ferrítico.

35 Es importante que, en la etapa (c), se controle la microestructura de las aleaciones de acero inoxidable austenítico-ferrítico, de modo que al final del proceso los porcentajes apropiados de fases de austenita y ferrita estén presentes en la pieza de trabajo tubular o tubo, debido a que las propiedades mecánicas y la resistencia a la corrosión se determina en gran parte por estas fases. Los elementos de aleación se seleccionan de modo que los elementos alfaenos (que promueven la formación de ferrita) y elementos de gammaenos (que promueven la formación de austenita) están equilibrados. Además, una temperatura de tratamiento térmico correcta y un enfriamiento rápido estabilizan ambas fases y evitan la formación de terceras fases no deseadas.

40 En este sentido, la distancia entre las fases también es importante para evitar el agrietamiento inducido por tensiones de hidrógeno (HISC). En particular, es conveniente que la separación de austenita sea, como máximo, 30 µm (es decir, micras o micrómetros) con una presencia de la fase de ferrita entre el 40 % y el 60 % (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores).

45 En algunas de estas realizaciones preferidas, la aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico es un acero inoxidable dúplex. En algunas otras de estas realizaciones preferidas, la aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico es de acero inoxidable súper-dúplex.

50 En las realizaciones preferidas de la invención, el trabajo en caliente comprende uno de: laminación, forja, y una combinación de los mismos.

55 La laminación de la pieza fundida de acero inoxidable homogeniza su estructura interna en términos del tamaño de grano, porosidad, cavidades, entre otros. Los trenes de laminación deforman plásticamente la pieza fundida, lo que ofrece normalmente granos que son más grandes en su interior que en su superficie- la parte en contacto con el molde de fundición-. La pieza de trabajo laminada puede presentar muchas formas diferentes, tales como, por ejemplo, cilíndrica, rectangular, de forma de lámina, entre otros. Los trenes de laminación continuos o reversibles conocidos en la técnica se pueden utilizar, por ejemplo, para deformar plásticamente una pieza fundida como, por ejemplo, una barra o un lingote.

60 La pieza fundida de acero inoxidable se puede forjar también durante la etapa de trabajo en caliente, en cuyo caso la pieza fundida puede retenerse -aunque no necesariamente- con alicates, barras, o similares, y un martillo o un troquel aplica golpes para deformarla. La forja se puede realizar por un usuario (por ejemplo, un herrero) o por una

máquina (por ejemplo, forjado libre). También es posible utilizar una prensa de forja rotativa para deformar la pieza fundida.

5 Es conveniente realizar el proceso de forja progresivamente (es decir golpes secuenciales causando, cada uno, una pequeña deformación) de modo que las deformaciones pueden cristalizarse sin formar grietas.

En algunos casos, la laminación y la forja se pueden realizar ambos de forma secuencial a partir de la pieza fundida.

10 En algunas realizaciones de la invención, el método comprende además (f) recocer por solubilización la barra o pieza de trabajo, a una temperatura entre 1030 °C y 1120 °C (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores).

15 Con el fin de reducir la dureza de la barra o pieza de trabajo y aumentar su ductilidad, la barra o pieza de trabajo puede ser objeto de recocido por solubilización. Por otra parte, el recocido por solubilización puede reducir también las tensiones internas de la pieza de trabajo o barra. La barra o pieza de trabajo se calienta, por tanto, por encima de su temperatura de recristalización, mantenida durante algún tiempo a una temperatura mayor que dicha temperatura de recristalización, y se enfría después rápidamente (por ejemplo, enfriamiento con agua).

20 En algunas realizaciones de la invención, la etapa (f) se realiza en la pieza de trabajo de forma de pretubular o la barra cilíndrica, es decir, la etapa de recocido por solubilización puede realizarse después de que se trabaja en caliente la pieza fundida y antes de trepanar la barra o mecanizar la pieza de trabajo de forma pretubular de tal manera que el aumento de la ductilidad logrado con la deformación plástica se mejora aún más. En las realizaciones en las que el método comprende templar la barra o pieza de trabajo después del trabajo en caliente, el recocido por solubilización puede tomar ventaja del templado –Etapa (d).

25 En algunas realizaciones, la etapa (f) se realiza en la pieza de trabajo tubular, es decir, después del trepanado y antes del trabajo en frío puesto que con el aumento de la ductilidad, se puede mejorar la reducción de paredes y el alargamiento del producto tubular durante el proceso de trabajo en frío y, por lo tanto, es posible aplicar una mayor reducción en una sola pasada, y/o producir una pieza de trabajo o tubo más largo con las mismas fuerzas aplicadas, o una pieza de trabajo o tubo con la misma longitud que aquella o aquél no se ha sometido al recocido por solubilización realizado pero aplicando menos fuerza.

30 Puesto que el trabajo en frío puede generar tensiones dentro de la pieza de trabajo tubular, la etapa de recocido por solubilización se puede realizar también después de trabajo en frío de modo que se eliminan, al menos parcialmente, estas tensiones internas.

35 En algunos casos, después de un proceso de recocido por solubilización, la pieza de trabajo puede templarse con un líquido tal como agua.

40 En las realizaciones preferidas de la invención, el método comprende además (g) calentar la pieza fundida de acero inoxidable a una temperatura superior a 1000 °C, y preferentemente superior a 1200 °C. Además, en estas realizaciones, la etapa (g) se realiza antes de la etapa (a).

45 La pieza fundida de acero inoxidable se calienta a una temperatura superior a su temperatura de recristalización, generalmente por encima de 1000 °C, de modo que se puede deformar, en la etapa de trabajo en caliente, a una temperatura alta. Es conveniente alcanzar una temperatura de al menos 1000 °C porque las fases intermetálicas (delta sigma o delta ferrita) se pueden formar en algunas aleaciones de acero inoxidable (por ejemplo, acero inoxidable dúplex), en el intervalo de temperatura entre 600 °C y 1000 °C. Estas fases intermetálicas pueden causar o generar grietas en la pieza de trabajo. Preferentemente, la temperatura en el horno es mayor que o igual a 1200 °C con el fin de realizar un proceso de trabajo en caliente de manera más eficaz y sin el riesgo de que la temperatura de la pieza fundida -debido al calor que se transfiere al soporte (por ejemplo, un yunque), el entorno, etc.- pasa por debajo de la temperatura de recristalización y/o por debajo de 1000 °C.

55 En las realizaciones preferidas de la invención, el trabajo en frío comprende uno de: conformación por estirado y laminación a paso laminación a paso de peregrino en frío.

60 En las realizaciones en las que el trabajo en frío comprende la conformación por estirado, una máquina de conformación por estirado, que incluye, entre otras cosas, un mandril y una pluralidad de rodillos con, normalmente, tres o cuatro rodillos, reduce el espesor de las paredes de la pieza de trabajo y hace que la pieza de trabajo sea más larga. La pieza de trabajo tubular puede verse sometida ya sea a la conformación por estirado de avance o a la conformación por estirado inversa.

65 La pieza de trabajo tubular se fija al mandril por medio del orificio, por ejemplo formado con el trepanado o mecanizado de la etapa (b). Cuando se fija la pieza de trabajo, el mandril puede mover la pieza de trabajo en una dirección de movimiento de los rodillos. Los rodillos aplican fuerzas a la pieza de trabajo en las direcciones axial, longitudinal y tangencial. La fuerza de compresión en una dirección radial reduce el espesor de la pared, lo que

combinado con las fuerzas en las otras dos direcciones da como resultado un alargamiento de la pieza de trabajo o tubo.

5 La conformación por estirado puede mejorar la estructura de grano de la pieza de trabajo tubular o tubo haciendo que la estructura interna sea más homogénea a lo largo de toda la pieza de trabajo, y puede mejorar sus propiedades mecánicas.

10 En las realizaciones en las que el trabajo en frío comprende laminación a paso de peregrino, un molino de paso de peregrino puede formar de nuevo la pieza de trabajo en un tubo alargado con paredes más finas. Los troqueles de anillo del tren, que pueden tener forma de anillo, comprimen la pieza de trabajo en una dirección radial y, por tanto, reducen su diámetro externo. El mandril, que puede asegurar la pieza de trabajo utilizando un orificio de la pieza de trabajo -por ejemplo formado con el trepanado o mecanizado de la etapa (b) - mueve y gira la pieza de trabajo, y también puede formar de nuevo el diámetro interno de la pieza de trabajo o tubo.

15 El mandril alimenta y gira la pieza de trabajo, sucesivamente, mientras que dos troqueles de anillo deforman la pieza de trabajo, lo que provoca una reducción tanto del diámetro externo como el espesor de las paredes. La pieza de trabajo se gira primero en gran medida (es decir, grandes variaciones de ángulo, por ejemplo, aproximadamente 60°) para deformar la sección que actualmente se procesa por los troqueles, y se gira después a pequeña escala (es decir, pequeñas variaciones de ángulo, por ejemplo, aproximadamente 20°) para ajustar la forma de la sección de tal manera que cuente con una sección circular pulido, es decir, un diámetro externo sustancialmente redondeado.

20 La laminación a paso de peregrino es un proceso semi-continuo que es particularmente eficaz en producciones a largo plazo. La pieza de trabajo tubular puede alimentarse, en un movimiento hacia delante, a una velocidad entre 2 y 50 mm/s (los puntos finales se incluyen en el intervalo de posibles valores), mientras que la velocidad de alimentación o la velocidad de movimiento hacia delante de la máquina de conformación por estirado puede ser entre 0,5 mm/s y 10 mm/s (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores). A pesar de que la velocidad de alimentación en la máquina de conformación por estirado puede ser menor que en la laminación a paso de peregrino, puede ser necesario un menor número de pasadas para producir un tubo con la conformación por estirado.

25 En algunas realizaciones de la invención, la conformación por estirado o la laminación a paso de peregrino reduce, al menos, el espesor de pared de la pieza de trabajo entre un 25 % y un 35 % (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores).

35 En algunas realizaciones de la invención, la conformación por estirado o la laminación a paso de peregrino reduce, al menos, el espesor de las paredes de la pieza de trabajo entre un 35 % y un 50 % (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores).

40 En algunas realizaciones de la invención, la conformación por estirado o la laminación a paso de peregrino reduce, al menos, el espesor de las paredes de la pieza de trabajo tubular entre un 50 % y un 75 % (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores).

45 En algunas realizaciones, el trabajo en frío comprende la conformación por estirado, y la conformación por estirado reduce al menos, el espesor de las paredes de la pieza de trabajo tubular en un 70 % en una pasada.

50 Debido a las propiedades mecánicas obtenidas después de algunos procesos o etapas de algunas realizaciones de la invención, la pieza de trabajo puede soportar una reducción de pared entre el 65 % y el 70 % (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores) en una sola pasada. Con tales reducciones, la máquina de conformación por estirado toma menos tiempo para procesar la pieza de trabajo y reducir el número de pasadas necesarias para alcanzar el espesor deseado. Esto es aún más significativo si se considera que el trabajo en frío reduce progresivamente la ductilidad de la pieza de trabajo después de cada pasada o deformación producida y, por lo tanto, las fuerzas necesarias para deformar adicionalmente la pieza de trabajo aumentan.

55 Otro aspecto se refiere a tubos de acero inoxidable producidos con el método descrito anteriormente con respecto al primer aspecto de la invención.

El tubo comprende

- 60 – un diámetro externo mayor que o igual a 152 mm, preferentemente mayor que o igual a 200 mm y preferentemente mayor que o igual a 250 mm;
- un espesor de pared promedio mayor que o igual a 2,8 mm, y menor que o igual a 70 mm, preferentemente mayor que o igual a 12 mm y preferentemente mayor que 39 mm; y
- una longitud mayor que 5 m, preferentemente mayor que o igual a 10 m, y preferentemente mayor que 12 m.

65 El tubo comprende preferentemente una aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico y, más preferentemente, una de un acero inoxidable dúplex y un acero inoxidable súper-dúplex;

En algunas realizaciones preferidas, los tubos comprenden una separación de austenita de menos de 30 micras (micrómetros).

5 Los tubos de acero inoxidable austenítico-ferrítico ofrecen separaciones de austenita que están por debajo de 30  $\mu\text{m}$  (micrómetros) son particularmente resistentes a HISC.

En algunas realizaciones preferidas, los tubos comprenden un contenido de ferrita mayor que o igual al 40 %, y menor que o igual al 60 %.

## 10 Breve descripción de los dibujos

Para completar la descripción y con el fin de proporcionar una mejor comprensión de la invención, se proporciona un conjunto de dibujos. Dichos dibujos forman una parte integral de la descripción e ilustran una realización de la invención, que no debe interpretarse como limitativa del alcance de la invención, sino simplemente como un ejemplo de cómo la invención puede llevarse a cabo. Los dibujos comprenden las siguientes figuras:

Las Figuras 1A a 1D son diagramas de flujo de métodos de acuerdo con algunas realizaciones de la invención.

20 La Figura 2 es una representación de una máquina de conformación por estirado, que se puede utilizar para el trabajo en frío en algunas realizaciones de la invención.

La Figura 3 es otra representación de una máquina de conformación por estirado.

La Figura 4 es una fotografía de la microestructura de un tubo producido con un método de acuerdo con una realización de la invención.

## 25 Descripción de una realización de la invención

La Figura 1A es un diagrama de flujo 100 que representa las etapas realizadas en un método de una realización de la invención.

30 En la etapa 101 del método, una pieza fundida de acero inoxidable se trabaja en caliente hasta convertirla en una pieza de trabajo de forma pretubular o en una barra cilíndrica, en concreto, la pieza fundida se deforma plásticamente en un entorno que tiene una temperatura superior a la temperatura de recristalización de la pieza fundida de modo que su estructura interna se ve alterada. Por lo general, la pieza fundida tiene una microestructura que incluye granos de diferentes tamaños, segregaciones de material, y cavidades que aparecen durante su fundición. El trabajo en caliente, es decir, la deformación plástica de la pieza fundida, reduce los defectos antes mencionados dentro de la pieza de trabajo o barra resultante puesto que una nueva estructura cristalina se puede formar. Esta estructura puede caracterizarse por una distribución más homogénea de los granos, y una menor presencia de cavidades y/o segregaciones de aleación. En consecuencia, la cantidad de tensiones internas es menor, lo que mejora algunas propiedades mecánicas de la pieza de trabajo o barra; la ductilidad, por ejemplo, puede aumentar debido al trabajo en caliente de la etapa 101.

40 Algunos ejemplos no limitantes del trabajo en caliente son forja, laminación y trefilado.

45 Cuando la pieza fundida se trabaja en caliente en una barra cilíndrica, la barra se trepana en la etapa 102. Una máquina de perforación o corte realiza un orificio en la barra cilíndrica, preferentemente un orificio pasante con sección transversal circular. En las realizaciones en las que el trabajo en caliente –Etapa 101- produce una pieza de trabajo de forma pretubular, la pieza de trabajo se ve sometida a un proceso de mecanizado de su diámetro interno en la etapa 103. Después de la etapa 102 o la etapa 103, se obtiene una pieza de trabajo tubular.

50 En la etapa 104, la pieza de trabajo tubular se somete al trabajo en frío: la pieza de trabajo se deforma plásticamente a una temperatura por debajo de su temperatura de recristalización. En particular, en la etapa 104 las paredes de la pieza de trabajo se reducen y se aumenta la longitud del tubo producido.

55 Algunos ejemplos no limitantes del trabajo en frío son laminación a paso de peregrino y conformación por estirado. En estos casos, el mandril de la máquina de conformación por estirado o de laminación a paso de peregrino sujeta la pieza de trabajo por medio del orificio formado en la etapa 102 o mecanizado en la etapa 103 de modo que la pieza de trabajo tubular se puede someter a las deformaciones producidas por la máquina.

60 La Figura 1B es un diagrama de flujo 110 que representa las etapas de un método para producir un tubo de acuerdo con otra realización.

El diagrama de flujo 110 comprende las etapas 101, 102, 103 y 104 que corresponden al trabajo en caliente, trepanado, mecanizado y trabajo en frío, respectivamente, como se ha descrito anteriormente con respecto a diagrama de flujo 100.

65 El método de la Figura 1B comprende además la etapa 105: fundición, en la que una aleación de acero inoxidable se funde y se vierte en un molde. El acero inoxidable se deja secar formando la pieza fundida, que puede tomar la

forma de, por ejemplo, un lingote o una barra. El volumen de acero inoxidable en la pieza fundida puede determinar la cantidad máxima de acero que se puede utilizar para la producción del tubo, puesto que, por lo general, no se añade acero después, más bien, se retira un poco del acero durante una o más etapas sucesivas 101-104 del método.

5 A continuación, la pieza fundida se somete, al menos, a un trabajo en caliente (etapa 101), trepanado (etapa 102) o mecanizado del diámetro interno (etapa 103), y al trabajo en frío (etapa 104).

10 La pieza fundida y/o la pieza de trabajo sometidas a los métodos descritos con respecto a los diagramas de flujo 100, 110 comprenden una aleación de acero inoxidable, siendo la aleación de acero inoxidable una aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico que es, preferentemente, acero inoxidable dúplex o acero inoxidable súper-dúplex.

15 La Figura 1C muestra el diagrama de flujo 120 que corresponde a un método de acuerdo con otra realización de la invención.

20 La realización comprende las etapas 101, 102, 103 y 104 que corresponden al trabajo en caliente, trepanado, mecanizado y trabajo en frío, respectivamente, y comprende además el templado -etapa 106- que tiene lugar después de la etapa 101, y antes de la etapa 102 o la etapa 103.

25 En la etapa 106, la pieza de trabajo de forma pretubular o la barra cilíndrica se enfrían rápidamente, de modo que la estructura interna obtenida en la etapa 101 se mantiene en gran parte. Por lo tanto, el enfriamiento rápido reduce la cantidad de las transformaciones de fase que pueden ocurrir en la pieza de trabajo o barra y, en particular, en su superficie después del trabajo en caliente.

La Figura 1D es un diagrama de flujo 130 de acuerdo con otra realización de la invención.

30 En primer lugar una pieza fundida de acero inoxidable se funde -etapa 105-. Con el trabajo en caliente -etapa 101-, la pieza fundida se deforma de tal manera que su microestructura cambia y, en consecuencia, sus propiedades mecánicas se ven también alteradas. La pieza de trabajo resultante se temple -etapa 105- a fin de mantener las propiedades mecánicas alteradas, y se somete después a trepanado -etapa 102- a fin de formar un orificio en su interior o se mecaniza -etapa 103- con el fin de volver a formar el orificio interior. La pieza de trabajo tubular obtenida se deforma a continuación, en un proceso de trabajo en frío reduciendo las paredes y aumentando la longitud del tubo -etapa 104-.

35 Los tubos producidos en algunas de estas realizaciones tienen una longitud mayor que 5 m. En algunas de estas realizaciones, la longitud de los tubos producidos es de más de 10 m. Y en algunas de estas realizaciones, la longitud de los tubos producidos es de más de 12 m. Estos tubos pueden presentar un diámetro externo mayor que o igual a 252 mm, preferentemente mayor que o igual a 200 mm, y preferentemente mayor que o igual a 250 mm; También puede presentar una pared de espesor medio mayor que o igual a 2,8 mm, y menor que o igual a 70 mm, y preferentemente mayor que o igual a 12 mm y menor que o igual a 39 mm.

40 La Figura 2 muestra una máquina de conformación por estirado 200. La pieza de trabajo 201 que tiene una geometría tubular se coloca sobre el mandril 202 de la máquina, y se mantiene en su lugar con un portabrocas de mordazas 203. El portabrocas de mordaza 203 hace que la pieza de trabajo 201 gire de acuerdo con el movimiento de giro del motor -un mandril 202 (no ilustrado) proporciona dicho movimiento de giro-. La máquina 200 comprende además un carro 204 en el que se dispone una pluralidad de rodillos 205a-205d en una configuración equidistante con una diferencia de fase progresiva de 90° entre los rodillos 205a-205d.

45 Tanto el mandril 202 como la pluralidad de rodillos 205a-205d incluyen movimientos de giro durante la operación de la máquina 200 de tal manera que la pieza de trabajo 201, a medida que pasa por el conjunto de rodillos 205a-205d, tiene su diámetro externo reducido, lo que a su vez provoca una reducción del espesor de sus paredes, y su longitud aumenta a lo largo del eje se ilustra en la Figura.

50 En la máquina de conformación por estirado 200, hay hasta 10 grados de libertad que se ajustan y controlan durante la producción de tubos: el giro del mandril 202, el giro de cada uno de los cuatro rodillos 205a-205d, la posición de cada uno de los cuatro rodillos 205a-205d en relación con la pieza de trabajo 201 o mandril 202 -ajustes de posición horizontal de los rodillos 205b y 205d, y ajustes de posición vertical de los rodillos 205a y 205c-, y la distancia de la porción del mandril entre el portabrocas de mordaza 203 y el carro 204.

55 En algunas realizaciones, la máquina de conformación por estirado comprende dos, tres, seis o más rodillos y, en consecuencia, la máquina puede presentar más o menos grados de libertad. En estas otras realizaciones, los rodillos pueden también disponerse siguiendo diferencias de fase constante con respecto a una circunferencia imaginaria a lo largo de la que se distribuyen los rodillos; las diferencias de fase constantes corresponden a 360° dividido entre el número de rodillos en el carro.



El carro 204 se mueve hacia el portabrocas de mordaza 203, y los rodillos 205a-205d, que giran en una dirección contraria al movimiento de giro del mandril 202 y la pieza de trabajo 201, proporcionan fuerzas en las direcciones axial, radial y tangencial. Aunque los rodillos aplican una fuerza de compresión sobre la pieza de trabajo 201, el carro 204 debe hacer frente y resistir las fuerzas aplicadas por los rodillos 205a-205d. Por tanto, estas fuerzas - principalmente aquellas en las direcciones axial y radial, puesto que la componente tangencial es mucho más pequeña que las otras dos- determinan los requisitos estructurales del carro 204.

Los rodillos se pueden desplazar axialmente entre sí permitiendo tres configuraciones de rodillo diferentes, dependiendo de los requisitos del proceso. Un desplazamiento axial hasta la línea de cero permite velocidades de alimentación de conformación más rápidas. Un desplazamiento axial que es cuatro veces diferente, uno para cada rodillo, permite mayor precisión y perfectas calidades superficiales combinadas con tasas de reducción de altura. El punto medio, un desplazamiento axial a modo par permite operaciones de conformación por estirado más fuertes lo que significa mayores reducciones, debido a que cada rodillo de conformación del par funciona como un contra-cojinete y toma la fuerza del rodillo opuesto. El resultado es una carrera perfecta a altas velocidades de alimentación.

La Figura 3 muestra una máquina de conformación por estirado 300 en una vista en 2D. De manera similar a la máquina 200 de la Figura 2, el mandril 302 sostiene la pieza de trabajo 301, y el portabrocas de mordaza 303 que sostiene también la pieza de trabajo 301 hace que la pieza de trabajo gire de acuerdo con el movimiento de giro del mandril 302.

A medida que el carro 304 se mueve hacia el portabrocas de mordaza 303, los rodillos 305a, 305b aplican una fuerza de compresión a la pieza de trabajo 301 y producen de forma incremental un tubo más largo y con paredes más finas.

La existencia de tantos grados de libertad en la máquina de conformación por estirado -y máquina, por extensión, el proceso correspondiente- hace de su operación una tarea compleja. Con este fin, un control numérico por ordenador gestiona todo el proceso y la operación de tal manera que los tubos producidos presentan, a través de todo su volumen, las propiedades mecánicas y microestructurales buscadas en el menor número de pasadas posibles. En este sentido, el control numérico por ordenador puede ajustar los parámetros relacionados con los grados de libertad antes mencionados de manera que las fuerzas axial y radial de los rodillos 305a, 305b deformen plásticamente la parte interna de la pieza de trabajo 201 a fin de generar fuerzas de compresión dentro de su estructura.

Es de particular relevancia determinar una relación apropiada entre la velocidad 311 a la que el carro 304 se mueve hacia el portabrocas de mordaza 303 y la velocidad de giro 312 del mandril 302. Si esta relación es demasiado alta, los rodillos 305a, 305b no pueden deformar adecuadamente la pieza de trabajo 301. Por el contrario, si la relación es demasiado pequeña, el tiempo que tarda en procesarse la pieza de trabajo 301 puede ser innecesariamente largo.

También es conveniente para ajustar el ángulo de ataque 310 de los rodillos 305a, 305b, es decir, el ángulo relativo entre los rodillos, 305a 305b y la pieza de trabajo 301, a medida que se está conformando por estirado. El ángulo de ataque 310 puede oscilar entre 6° y 45° (incluyéndose los puntos finales en el intervalo de posibles valores). Ángulos demasiado pronunciados de ataque pueden también dar lugar a deformaciones irregulares de la pieza de trabajo 301.

Preferentemente, el extremo de la pieza de trabajo 301 que va a estar primero en contacto con los rodillos 305a, 305b tiene los bordes de su abertura achaflanados de manera que los rodillos no se deforman la pieza de trabajo de forma irregular, lo que podría hacer que el tubo se vuelva inutilizable puesto que las propiedades mecánicas de esa parte del tubo pueden ser diferentes del resto del tubo.

La conformación por estirado no solo cambia la forma de la pieza de trabajo, también cambia su microestructura: los granos resultantes pueden orientarse y tienen un tamaño fino homogéneo, ambos de los que proporcionan propiedades mecánicas mejoradas.

La Figura 4 muestra la microestructura de un tubo producido con un método de acuerdo con una realización de la invención. El tubo comprende una aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico con una fase de austenita 401 y una fase de ferrita 402. En algunas realizaciones, la aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico es un acero inoxidable dúplex. En algunas otras realizaciones, la aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico es un acero inoxidable súper-dúplex.

En promedio, la separación de las fases de austenita 401 es de aproximadamente 30 micrómetros o menos, lo que es conveniente para resistir los fenómenos HISC. Tal separación se puede observar utilizando el segmento ilustrado 403, que es equivalente a 30  $\mu\text{m}$ .

En este texto, el término "comprende" y sus derivaciones (tales como "comprendiendo", etc.) no debe entenderse en un sentido excluyente, es decir, estos términos no deben interpretarse como excluyentes de la posibilidad de que lo que se describe y define pueda incluir elementos, etapas, etc.

La invención, obviamente, no se limita a la una o más realizaciones específicas descritas en la presente memoria, sino que también abarca cualquier variación que pueda considerarse por cualquier persona experta en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones.

5

**REIVINDICACIONES**

1. Un método (100, 110, 120, 130) para producir un tubo de una aleación de acero inoxidable, comprendiendo el método:
- 5 (a) trabajar en caliente (101) una pieza fundida de acero inoxidable hasta convertirla en una pieza de trabajo de forma pretubular o en una barra cilíndrica, teniendo la pieza de trabajo de forma pretubular una forma tubular;
- 10 (b) trepanar (102) la barra cilíndrica o mecanizar (103) el diámetro interno de la pieza de trabajo de forma pretubular para obtener una pieza de trabajo tubular (201, 301); y
- (c) trabajar en frío (104) la pieza de trabajo tubular (201, 301).
2. El método (120, 130) de la reivindicación 1, en donde:
- 15 el método comprende además (d) templar (106) la pieza de trabajo de forma pretubular o la barra cilíndrica; y
- (d) se realiza después de (a).
3. El método (120, 130) de la reivindicación 2, en el que (d) el templado (106) de la pieza de trabajo de forma pretubular o de la barra cilíndrica se realiza con agua a una temperatura no superior a 50 °C, y preferentemente no superior a 35°C.
- 20 4. El método (110, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde:
- 25 el método comprende además (e) fundir (105) la pieza fundida de acero inoxidable; y
- (e) se realiza antes de (a).
5. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la aleación de acero inoxidable es una aleación de acero inoxidable austenítico-ferrítico.
- 30 6. El método (100, 110, 120, 130) de la reivindicación 5, en el que la aleación de acero inoxidable es acero inoxidable dúplex o acero inoxidable súper-dúplex.
7. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el trabajo en caliente comprende uno de: laminado, forjado y una combinación de los mismos.
- 35 8. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, que comprende además (f) recocer por solubilización la pieza de trabajo de forma pretubular o la barra cilíndrica, a una temperatura entre 1030 °C y 1120 °C.
- 40 9. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones 1-7, que comprende además (f) recocer por solubilización la pieza de trabajo tubular (201, 301), y en el que (f) se realiza en al menos uno de los siguientes: después (b) y antes de (c), y después (c).
- 45 10. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que:
- 50 el método comprende además (g) calentar la pieza fundida de acero inoxidable a una temperatura superior a 1000 °C, y preferentemente superior a 1200 °C; y
- (g) se realiza antes de (a).
11. El método (100, 110, 120, 130) de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el trabajo en frío (104) comprende uno de: conformación por estirado y laminación a paso de peregrino.
- 55 12. El método (100, 110, 120, 130) de la reivindicación 11, en el que el trabajo en frío (104) comprende la conformación por estirado, y la conformación por estirado reduce, al menos, el espesor de las paredes de la pieza de trabajo (201, 301) en un 70 % en una pasada.

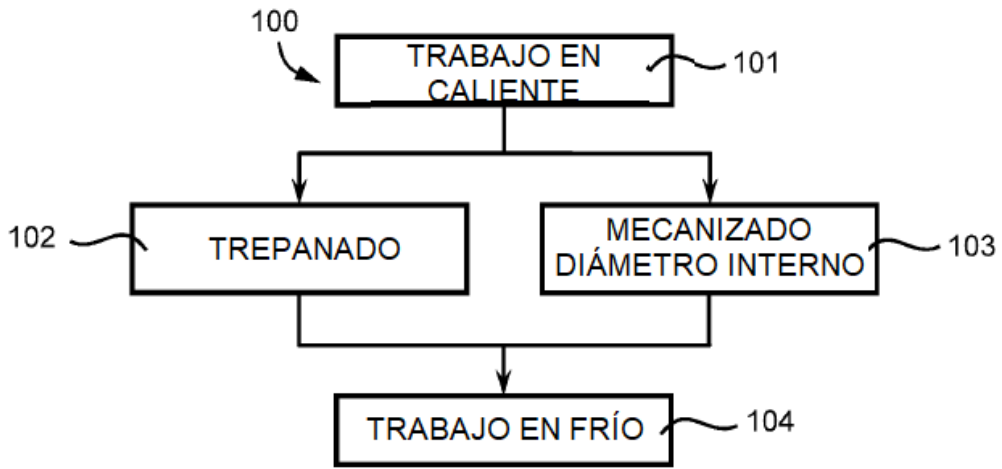


FIG. 1A

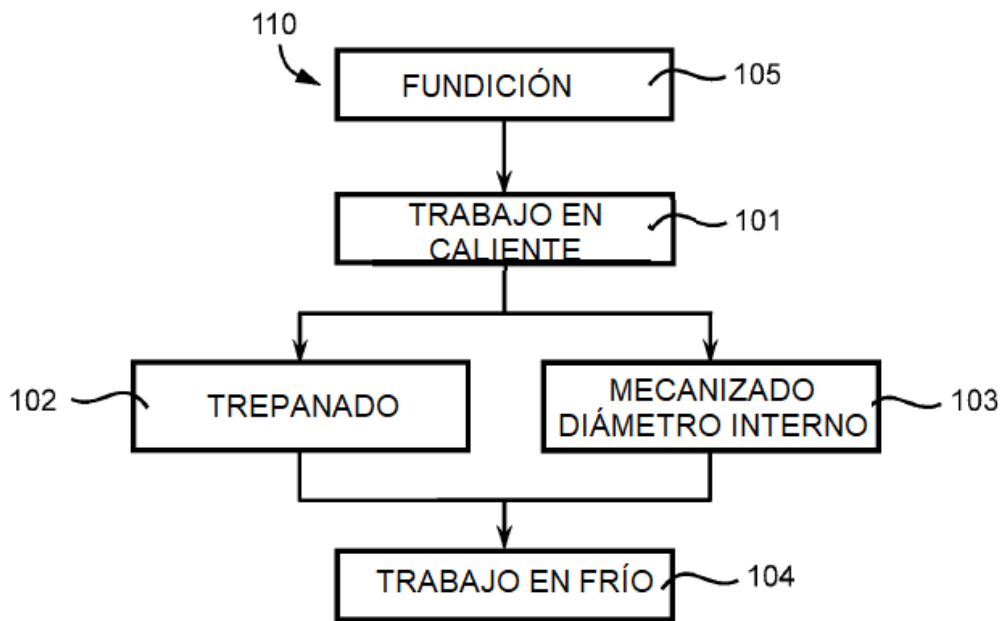


FIG. 1B

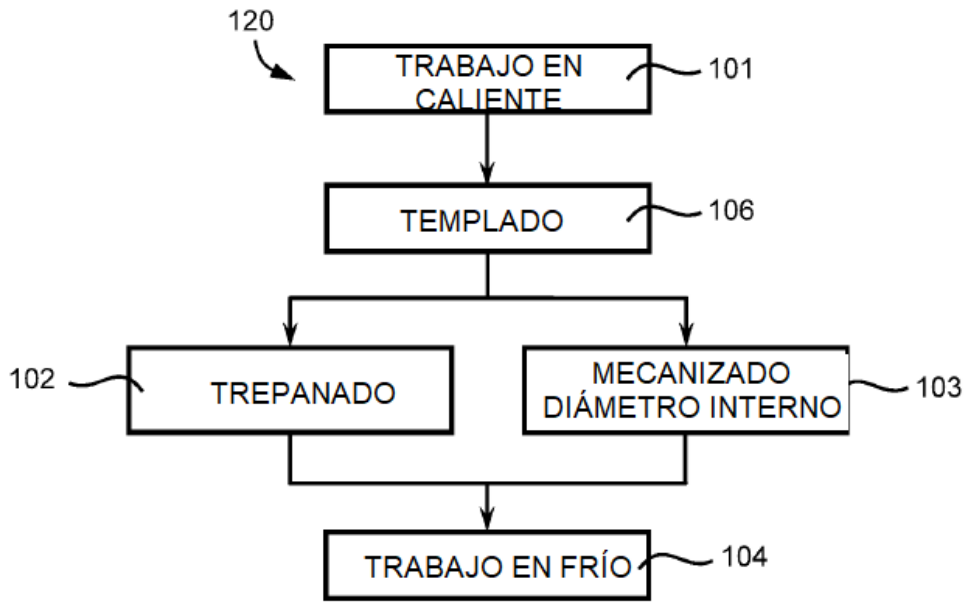


FIG. 1C

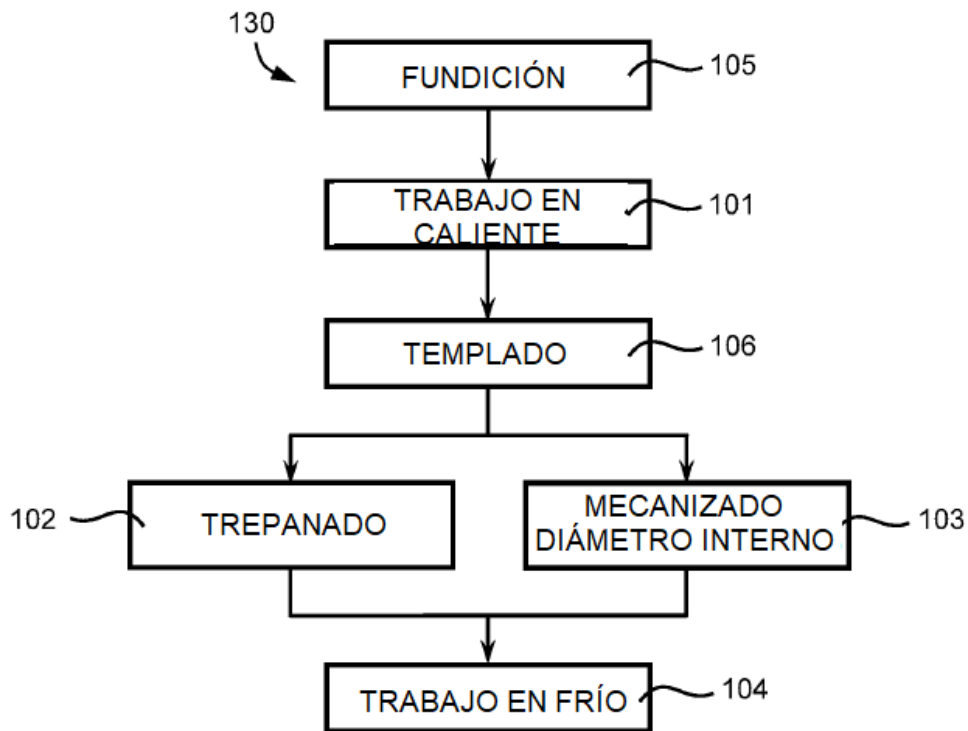


FIG. 1D

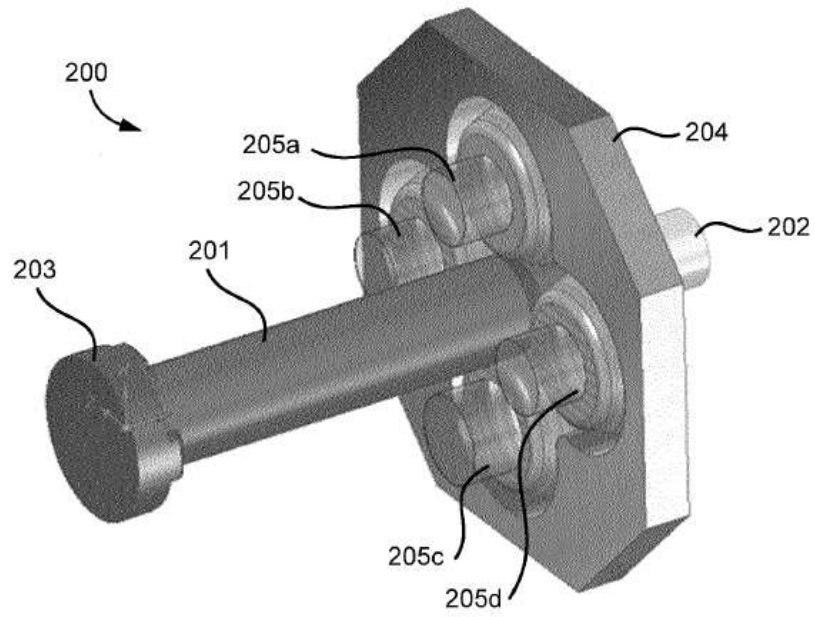


FIG. 2

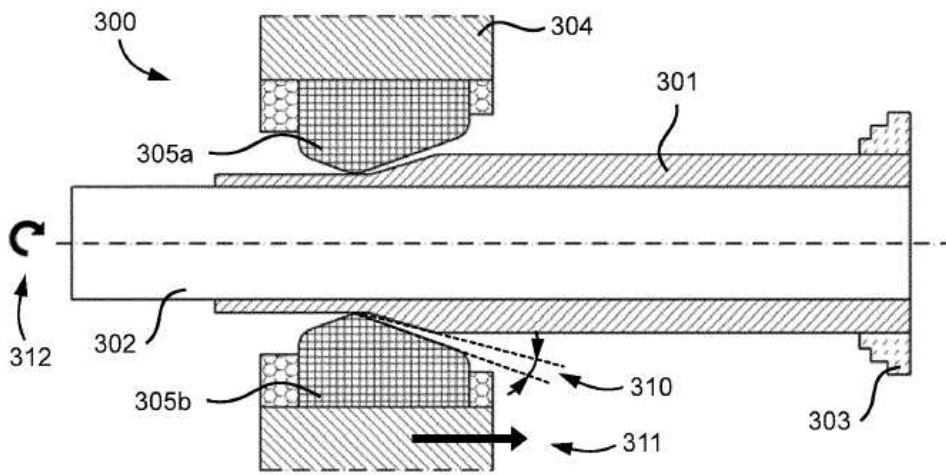
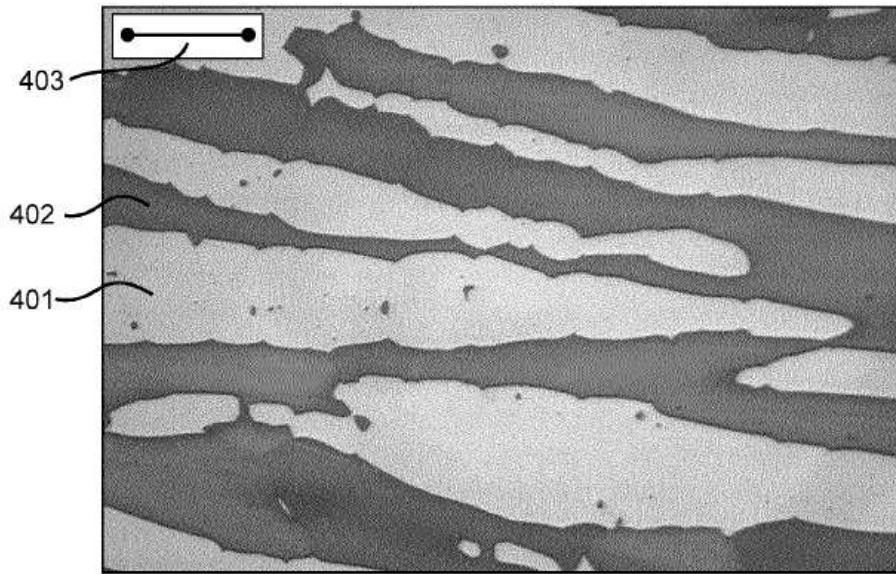


FIG. 3



**FIG. 4**