

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 381**

51 Int. Cl.:

B21D 22/21 (2006.01)

B21D 22/28 (2006.01)

B21D 35/00 (2006.01)

B21D 51/24 (2006.01)

F17C 1/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.03.2014** **PCT/GB2014/050788**

87 Fecha y número de publicación internacional: **18.09.2014** **WO14140610**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.03.2014** **E 14713240 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **12.04.2017** **EP 2969284**

54 Título: **Método de fabricación de revestimientos interiores para vasija de presión**

30 Prioridad:

14.03.2013 FR 1352261

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.08.2017

73 Titular/es:

LUXFER GAS CYLINDERS LIMITED (100.0%)
Anchorage Gateway 5 Anchorage Quay
Salford M50 3XE, GB

72 Inventor/es:

CHALANDON, BERNARD ALAIN JACQUES;
DAVAL, ROMARY GEORGES MARCEL y
HEPPLES, WARREN

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 629 381 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

Método de fabricación de revestimientos interiores para vasija de presión

La invención se refiere a la fabricación de un revestimiento interior cilíndrico para uso en una vasija de presión. En particular, la invención se refiere a la fabricación de revestimientos interiores para vasija de presión de aleación de aluminio sin discontinuidades, que tienen uno de sus extremos cerrado y el otro extremo provisto de un cuello roscado para el aseguramiento de accesorios a la vasija.

Una vasija de presión del tipo al que se refiere esta invención se utiliza generalmente para contener fluidos y gases, tales como oxígeno o gases de calibración, por lo común hasta una presión de entre 300 y 380 bar, si bien, en el caso de gas hidrógeno, esta puede ser de hasta 700 bar. En muchas aplicaciones, tales como botellas de oxígeno portátiles para aplicaciones médicas y aparatos de respiración autónomos, la motivación es proporcionar una vasija con un peso mínimo y que sea capaz, al mismo tiempo, de tolerar un elevado número de presurizaciones y despresurizaciones sin un debilitamiento significativo. Una solución consiste en proporcionar un revestimiento interior delgado e impermeable, hecho de un material ligero tal como aleación de aluminio (a la que se hace referencia, simplemente, como aluminio) o un material de elastómero. Este material es relativamente expansible e incapaz de soportar las presiones internas, y, por tanto, se refuerza mediante arrollamiento con fibras de carbono, de aramida y/o de vidrio, impregnadas con una resina tal como resina epoxídica. El propósito principal del revestimiento interior es, por tanto, contener el fluido y transmitir la presión del gas a las fibras. Los revestimientos interiores de aluminio también ayudan al absorber algo de la carga. El mejor comportamiento se consigue con un revestimiento interior dispuesto con envolvimiento completo. Es decir, uno que se ha reforzado para absorber tensiones tanto longitudinales como circunferenciales. Las fibras, se arrollan, de acuerdo con esto, en torno al revestimiento interior cilíndrico circunferencial y helicoidalmente, tan ceñidamente como sea posible a la dirección longitudinal.

Los revestimientos interiores de aluminio dispuestos con envolvimiento completo son bien conocidos y se han venido produciendo durante muchos años. El método de fabricación implica diversas etapas que se han perfeccionado o añadido a lo largo de los años a medida que se mejoraba el comportamiento del producto. Los primeros procedimientos se basaban en las etapas de extrusión, embutición y conformación. El aluminio es extrudido a través de una matriz a la temperatura ambiental, a fin de obtener un tubo hueco que está cerrado por un extremo. El tubo es entonces embutido a través de una segunda matriz de diámetro reducido, a fin tanto de reducir el diámetro del tubo de revestimiento interior, como de dar resistencia al material de aluminio. El tubo se corta en su longitud. Se forman unos extremos redondeados en la vasija por calentamiento y, seguidamente, aplicando presión al tubo a medida que este se hace rotar, a fin de guiar el material hasta formar un extremo semiesférico con un cuello longitudinal.

El requisito de un cuello roscado lleva consigo que la vasija ha de tener un cierto espesor mínimo en las proximidades del cuello. Es decir, debe haber el suficiente material en el cuello para permitir a este soportar la formación de una rosca para el aseguramiento de un accesorio. Es más, la porción de cuello se dispone con un envolvimiento menos eficaz en el cilindro terminado y, sin embargo, se sigue requiriendo de ella que resista la presión ejercida por el gas almacenado sobre el accesorio. Estas consideraciones establecen, de hecho, un límite mínimo para la cantidad de material que debe utilizarse en el cuello. Con los métodos de fabricación de la técnica anterior más antigua, el tubo de vasija se hacía de un espesor uniforme. El requisito del espesor en el cuello limitaba, en consecuencia, el resto de la vasija al mismo espesor, con el resultado de que la parte de tambor era más gruesa de lo necesario. En consecuencia, el revestimiento interior incluía un exceso de material que no ayudaba a la hora de reducir su coste y su peso.

El documento CA 2.151.862 describe un desarrollo de los primeros procedimientos de fabricación en el que el tubo de aluminio extrudido se monta en una máquina de conformación de flujo, o en continuo. Unos rodillos aplican presión al tubo para reducir el espesor de la región de tambor, al tiempo que se conserva el espesor de las regiones de extremo. Las regiones de extremo se conforman entonces por rotación para producir unos extremos conformados sustancialmente en forma de cúpula cerrada, con cuellos que se extienden longitudinalmente.

En el documento JP 2000/202552 se describen tres procedimientos que producen un cilindro con paredes más gruesas en la región de tambor. Los procedimientos difieren en las etapas iniciales en las que se forma un tubo o una semienvuelta en forma de copa. Por ejemplo, se forma una semienvuelta por moldeo de una pieza de partida de aluminio entre un punzón y una matriz. El resultado es un tubo que está cerrado por uno de sus extremos. La sección del tambor central del tubo es entonces reducida en espesor por planchado, antes de que la región de extremo abierto, más gruesa, sea cerrada por rotación.

Otra solución para reducir el peso del revestimiento interior consiste en utilizar una cantidad menor de un material más resistente. Se ha venido utilizando un abanico de aleaciones de aluminio en la fabricación de revestimientos interiores. Se prefieren, por lo general, las aleaciones de aluminio susceptibles de endurecerse por precipitación, por ejemplo, las series AA2xxx, AA6xxx, AA7xxx y AA8xxx, según se definen por la publicación "International Alloy Designations and Chemical Composition Limits for Wrought Aluminium and Aluminium Alloys" (Designaciones de aleación y límites de composición química internacionales para aluminio forjado y aleaciones de aluminio), publicada por la Aluminium Association (Asociación del Aluminio), en su revisión de junio de 1994. Sin embargo, las aleaciones

más resistentes, como la AA7060, no se prestan a métodos de tratamiento que se han venido utilizando con éxito para las aleaciones más débiles, como la AA6061.

Hay, por tanto, una necesidad palpable de un nuevo método para fabricar revestimientos interiores de aluminio que puedan ser aplicados a un mayor abanico de materiales que lo que es posible con los métodos de la técnica anterior. El propósito de esta invención es, por consiguiente, proporcionar un tal procedimiento de fabricación que pueda ser utilizado de manera eficaz en todo un abanico de aleaciones de aluminio, incluyendo la serie AA7xxx, más dura. En particular, el revestimiento interior resultante, cuando se dispone en envolvimiento completo, es, potencialmente, más pequeño y ligero que las vasijas de presión equivalentes conocidas en la técnica anterior.

De acuerdo con ello, la presente invención proporciona un método de fabricación de un revestimiento interior para uso en una vasija de presión, de tal manera que el método comprende las etapas de:

- (a) Proporcionar una semienvuelta en forma de copa de una aleación de aluminio, con un extremo de corona cerrado y una parte superior abierta, de tal manera que la semienvuelta tiene una región de tambor con paredes más delgadas, una región de extremo en la parte superior abierta, con paredes más gruesas, y una zona de transición intermedia de un espesor que se estrecha gradualmente;
- (b) Embutir en frío la semienvuelta utilizando un punzón con paredes generalmente cilíndricas y una región superior dotada de una cierta forma, que, durante la operación de embutición, se encuentra con la zona de transición de la semienvuelta;
- (c) Conformar la región de extremo y la zona de transición de manera que se cierre la parte superior abierta y para formar un cuello que se extiende desde ella; y
- (d) Recortar una rosca en el cuello.

Esta invención resulta ventajosa porque es adecuada no solo para tratar las aleaciones de aluminio más blandas, como la AA6061, sino también los materiales AA7060 y AA7032, que antes se consideraban materiales relativamente intratables para trabajo en frío. Sin embargo, se ha encontrado, sorprendentemente, que es posible aplicar un trabajo en frío de manera eficaz a estos materiales, en particular si la zona de transición del cilindro se conforma por embutición en frío de acuerdo con el método que se describe en esta memoria.

En una realización preferida, la región superior del punzón, dotada de una cierta forma, se extiende generalmente hacia dentro, y la etapa de embutición en frío incluye las etapas de:

- (i) empujar el punzón y la semienvuelta dentro de una matriz de diámetro más pequeño que al menos un diámetro exterior de la región de extremo de la semienvuelta; y
- (ii) extraer el punzón de la semienvuelta de un modo tal, que la parte cilíndrica del punzón conforma adicionalmente la zona de transición de la semienvuelta.

Durante este procedimiento de embutición en frío, la zona de transición es empujada hacia dentro para encontrarse con la región superior del punzón dotada de cierta forma. Conforme el punzón es extraído, su parte inferior, generalmente cilíndrica, empuja la zona de transición conformada de vuelta hacia fuera y, ventajosamente, aplanar su superficie interior. Esto, a su vez, hace que la forma impartida a la zona de transición de la semienvuelta sea comunicada al exterior de la semienvuelta. Esta conformación puede ser tal, que resulte ventajosa para etapas adicionales del tratamiento de la semienvuelta.

En particular, en realizaciones para las que la región superior del punzón, dotada de cierta forma, comprende una primera porción curvada hacia dentro, de radio de curvatura convexo R1, adyacente a una segunda porción curvada hacia dentro, de radio de curvatura cóncavo R2, se encuentra que la primera porción protege la semienvuelta en cierta medida cuando se extrae del punzón, lo que hace que sea menos susceptible de romperse, y la segunda porción engrosa, efectivamente, la pared de la semienvuelta hacia la región de extremo de la semienvuelta. Este último efecto resulta ventajoso en el tratamiento subsiguiente de la región de extremo para cerrar la parte superior y formar el cuello del revestimiento interior.

R1 es, preferiblemente, mayor que R2 y, preferiblemente, igual al doble de $R2 \pm 20\%$.

R1 y R2 pueden determinarse por las ecuaciones

$$R1 = \frac{1.515 \times (T_{fm} - FTT)}{A}$$

$$R2 = \frac{675 \times (Tfm - FTT)}{A}$$

donde la región de extremo de la semienvuelta, tras la embutición, tiene un espesor Tfm, la región de transición tiene una parte de cuña, tras la embutición, con el espesor máximo FTT, y A es una constante de un valor comprendido entre 11 y 60.

- 5 La matriz dentro de la cual pueden empujarse el punzón y la semienvuelta durante la operación de embutición en frío puede tener, adicionalmente, un diámetro que es más pequeño que un diámetro exterior de la región de tambor de la semienvuelta. Esta semienvuelta de diámetro más pequeño permite llevar a cabo un trabajo en frío a lo largo de la longitud de la semienvuelta, lo que aumenta su longitud, adelgaza las paredes de la semienvuelta y hace más resistente el material a todo lo largo de esta.
- 10 Antes de la embutición en frío, la semienvuelta conformada en forma de copa, con el extremo de corona cerrado y la parte superior abierta, puede ser conformada por mecanizado para proporcionar a la semienvuelta la región de tambor con paredes más delgadas, la región de extremo con paredes más gruesas y la zona de transición, de espesor en estrechamiento gradual. Alternativamente, puede proporcionarse esta semienvuelta conformada utilizando métodos conocidos en la técnica anterior, por ejemplo, como se describe en el documento JP 2002/202552. Se encuentra, sin embargo, que el mecanizado resulta más adecuado para tratar las aleaciones de aluminio más duras, tales como la AA7060.
- 15

La semienvuelta conformada en copa se forma, preferiblemente, extrudiendo la aleación de aluminio. Alternativamente, puede formarse por embutición profunda.

- 20 En el método de esta invención, la parte superior y el cuello de la semienvuelta pueden formarse por conformación por rotación.

- La aleación de aluminio es, preferiblemente, una aleación resistente tal como una seleccionada de entre las series AA7xxx y AA2xxx. En particular, puede seleccionarse de las series AA7xxx y es preferiblemente la AA7060 y/o la AA7032. Estas aleaciones son materiales de aluminio particularmente resistentes cuyo uso hace posible, en consecuencia, fabricar un revestimiento interior con una resistencia similar a las conocidas en la técnica, pero utilizando menos material. Tal revestimiento interior es, consecuentemente, más ligero y más portátil que los de la técnica anterior, lo que mejora su utilidad. La etapa de embutición en frío puede implicar el trabajo en frío de la semienvuelta en una magnitud entre el 15% y el 38%, y, preferiblemente, en una magnitud entre el 25% y el 38%.
- 25

A continuación se describirá la invención a modo de ejemplo únicamente y con referencia a los dibujos que se acompañan, en los cuales:

- 30 La Figura 1 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procedimiento implicadas en la fabricación de un revestimiento interior de acuerdo con esta invención;

La Figura 2 es una vista en corte transversal de una ilustración esquemática de un revestimiento interior después de su extrusión, de acuerdo con esta invención;

La Figura 3 muestra el mismo revestimiento interior, una vez que se le ha dado forma por mecanizado;

- 35 La Figura 4a es una ilustración esquemática del revestimiento interior mecanizado, al comienzo de un procedimiento de embutición en frío;

La Figura 4b es una ilustración del mismo revestimiento interior, conforme es sometido a los estadios iniciales de un procedimiento de embutición en frío;

- 40 La Figura 4c es una ampliación del detalle C de la Figura 4b, que muestra una región dotada de cierta forma, del punzón de embutición en frío;

La Figura 4d es una ilustración del revestimiento interior al final de la operación de embutición en frío;

La Figura 4e es una ilustración esquemática del revestimiento interior, conforme es extraído del punzón de embutición en frío;

- 45 La Figura 5 es una vista en corte transversal que muestra el alargamiento y la conformación del revestimiento interior tras la embutición en frío;

La Figura 6 es una ilustración ampliada de la parte 20b del revestimiento interior de la Figura 5, que muestra la forma de la transición de pared más delgada a pared más gruesa, que es importante para esta invención;

La Figura 7 es una ilustración en corte transversal del revestimiento interior, tras someterse a un procedimiento de

rotación para formar un cuello;

La Figura 8 es una ilustración en corte transversal del cuello del revestimiento interior, tras practicársele una rosca en preparación para el aseguramiento de un accesorio de válvula; y

5 La Figura 9 es un diagrama de flujo que muestra las etapas de procedimiento implicadas en el diseño de la región dotada de cierta forma del punzón de embutición en frío, a fin de fabricar un revestimiento interior de acuerdo con esta invención.

Se describirá, a continuación, con referencia a la Figura 1 y a las demás Figuras según sea apropiado, un ejemplo de revestimiento interior fabricado de acuerdo con el método de esta invención.

10 En una primera etapa S10, una pieza de partida redonda de aluminio AA7060 es extrudida hacia atrás en frío utilizando una prensa hidráulica para formar una semienvuelta. La Figura 2 muestra un ejemplo de semienvuelta 10 producida por este método. La prensa incluye un punzón con un diámetro y una base en forma de cúpula correspondientes al diámetro interior y a una base cerrada de la semienvuelta, respectivamente, y una matriz conjugada conjugado, que tiene una forma en correspondencia con el extremo de base externo de la semienvuelta. El punzón empuja la pieza de partida en su dirección longitudinal, al interior de la matriz. La pieza de partida es
15 extrudida hacia atrás, en torno al punzón, para formar una semienvuelta 10 en forma de copa. La semienvuelta 10 comprende una región de corona cerrada y redondeada 16, y una parte tubular 18, 20 de un espesor de pared uniforme. Puede considerarse, adicionalmente, que la parte tubular 18, 20 comprende una región de tambor 18 y una región de extremo abierto 20.

20 En una segunda etapa S20, la semienvuelta 10 se monta en un torno con control numérico por computadora (CNC – “computer numerical controlled”) para su mecanizado externo. La Figura 3 muestra el aspecto en sección transversal de la semienvuelta 10 tras su mecanizado. El propósito de la etapa de mecanizado S20 es adelgazar las paredes de la región de tambor 18, que retira material de aleación que sobra en términos de requisitos de resistencia. Una parte 20a de la región de extremo 20 cercana a la abertura de la semienvuelta no se mecaniza, o se mecaniza mínimamente, para que conserve sustancialmente su espesor original. El resto 20b de la región de
25 extremo, entre el extremo 20a, más grueso, y la región de tambor 18, más delgada, se mecaniza para formar una zona de transición. En la zona de transición 20b, la pared se estrecha gradualmente de forma generalmente lineal entre los dos espesores (de las regiones de tambor 18 y de extremo 20a).

30 La semienvuelta 10 es, seguidamente, recocida S30 con el fin de ablandar la aleación en preparación para su embutición en frío. El recocido se lleva a cabo a una temperatura comprendida en el intervalo que es apropiado para la aleación que está siendo tratada. En esta realización, el material de semienvuelta es de aleaciones de aluminio de la serie AA7xxx, y es, por tanto, recocido a una temperatura de entre 385°C y 405°C durante un tiempo de entre 3 y 5 horas. La semienvuelta 10 se deja enfriar hasta la temperatura de la sala.

35 El recocido S30 es seguido por una embutición en frío S40. Por embutición en frío se quiere significar la extensión de la semienvuelta de un modo tal, que su material se deforma a una temperatura por debajo de aquella a la que se produce una recuperación o recristalización significativa. Se lleva a cabo, preferiblemente, a la temperatura ambiental o cerca de esta.

40 La secuencia de etapas implicadas en el procedimiento de embutición en frío S40 se muestra con mayor detalle en las Figuras 4a a 4e. Con referencia, en primer lugar, a la Figura 4a, la semienvuelta 10 se ilustra en una prensa de embutición en frío 22. La semienvuelta 10 se lubrica y se monta en un punzón 24 cuyos diámetro y base coinciden generalmente con el diámetro interior y la corona 16 de la semienvuelta. El punzón 24 es generalmente cilíndrico, con una región conformada 24a hacia su parte superior. Esto se muestra con mayor detalle en la Figura 4c. La prensa 22 incluye el punzón 24, una matriz 26 que es la responsable de trabajar la semienvuelta 10, una sufridera 28 que soporta equipo diverso (no mostrado) asociado con el control del procedimiento, y una placa rascadora 30. En la Figura 4a, la semienvuelta 10 y el punzón 24 se han mostrado soportados por una guía en preparación para el
45 procedimiento de embutición en frío S40.

50 La Figura 4b muestra la prensa de embutición en frío 22 al comienzo de una embutición en frío. La matriz 26 tiene la misma forma global que la semienvuelta 10, pero su diámetro es más pequeño que el diámetro exterior de la región de tambor de la semienvuelta. Conforme la semienvuelta 10 es, por lo tanto, empujada al interior de la matriz, se lleva a cabo el trabajo en frío en sus paredes, que se han adelgazado y alargado. Es decir, la longitud total de la semienvuelta 10 se incrementa y su espesor de pared se reduce.

55 Como se ha mencionado anteriormente, el punzón 24 incluye una región dotada de cierta forma 24a. Esta se muestra con mayor detalle en la Figura 4c, que es una vista ampliada de la caja C de la Figura 4b. La región dotada de cierta forma está suavemente curvada. La parte inferior se curva hacia dentro (en dirección a la parte interior del punzón), con un radio de curvatura convexo R1. La forma adopta entonces una curvatura cóncava con un radio R2. Como puede observarse en la Figura 4c, antes de la embutición en frío, esta deja un espacio de separación 32 entre el punzón 24 y la superficie interior de la semienvuelta 10. A medida que prosigue el trabajo en frío, la semienvuelta 10 es alargada hasta que la zona de transición en forma de cuña 20b se sitúa adyacente a la región dotada de cierta

forma 24a del punzón, lugar en el cual la región dotada de cierta forma 24a está a punto de ser empujada al interior de la matriz 26. El movimiento adicional del taladro 24 dentro de la matriz 26 tiene como resultado que la zona de transición 20b es presionada contra la región dotada de cierta forma 24a del punzón, de tal manera que es conformada con una forma curva cuyo espesor de pared varía a lo largo de su longitud.

- 5 En la Figura 4d se muestra la terminación del ciclo de embutición en frío S40, una vez que la semienvuelta ha sido completamente forzada al interior de la matriz 26.

La Figura 4e muestra la semienvuelta 10 al ser retirada del punzón 24. Tras la situación ilustrada en la Figura 4d, la placa rascadora 30 es movida hacia dentro para encontrarse con los lados del punzón 24, por encima de la semienvuelta 10. El punzón 24 es entonces extraído de la matriz. Conforme la semienvuelta 10 es alzada con el punzón, su borde es atrapado sobre la placa rascadora 30. Se prosigue entonces con la extracción del punzón 24, y la semienvuelta 10 es retirada. Esta extracción, sin embargo, provoca que se lleve a cabo un trabajo adicional en la zona de transición 20b. Se recordará que la zona de transición 20b se había curvado hacia dentro durante el procedimiento de embutición en frío. Es decir, la superficie interior de la semienvuelta, en esta región, está curvada hacia dentro, con un diámetro menor que el del resto de la semienvuelta 10 y también de la parte cilíndrica del punzón. A medida que el punzón es arrastrado hacia arriba, fuera de la semienvuelta, por lo tanto, la zona de transición 20b de la semienvuelta es suavizada en su superficie interior. En consecuencia, la zona de transición 20b es adicionalmente reconfigurada y las deformaciones curvadas son transferidas a la superficie exterior.

La Figura 5 es una vista en corte transversal de la propia semienvuelta 10, tras la embutición en frío. El resultado de ello es un incremento de la longitud, en comparación con la semienvuelta 10 previa a la embutición en frío que se muestra en la Figura 3, una reducción en el espesor de pared y una reconfiguración de la zona de transición 20b. En la Figura 6 se muestra con mayor detalle una vista en corte transversal de la zona de transición reconfigurada 20b.

Con referencia a la Figura 6, una superficie interior 34 de la semienvuelta de revestimiento interior esencialmente es suavemente cilíndrica. En esta vista en corte transversal, por lo tanto, la superficie interior 34 aparece como una línea recta, sustancialmente paralela a un eje longitudinal del cilindro. Una superficie exterior 36 se ha conformado, por el procedimiento de embutición en frío S40, como una región con un incremento generalmente curvo de espesor. El espesor (posterior a la embutición en frío) LT de la porción de tambor 18 de la semienvuelta se ha indicado, en la Figura 6, en el punto en que la zona de transición 20b comienza a aumentar de espesor. Para una primera longitud FTL, la pared presenta un incremento generalmente lineal de longitud, de manera que forma, en sección transversal, un ángulo de cuña poco acusado α . Tras la longitud FTL, la superficie 36 se eleva hacia arriba, aumentando el espesor de la pared de la semienvuelta (cóncava) con un perfil curvo (cóncavo) con un radio de curvatura relativamente grande R1. Tras ello, la curvatura se vuelve convexa con un radio de curvatura R2, y el espesor de la pared de la semienvuelta aumenta hasta alcanzar el espesor Tfm del extremo más grueso de la semienvuelta. Estos radios de curvatura R1 y R2 son aproximadamente iguales a los que presenta la región dotada de cierta forma 24a del punzón 24 y, por tanto, se utilizarán los mismo símbolos representativos. Ha de tenerse en mente, sin embargo, que existe un cierto retroceso elástico y otras deformaciones inherentes a la retirada de la semienvuelta del punzón, y, por tanto, la igualdad supuesta es solo aproximada.

Existen diversos factores que considerar tanto en la operación de embutición en frío como a la hora de establecer la forma de la zona de transición 20b. Tales consideraciones son centrales para muchas realizaciones del método de esta invención, y se acometerán con detalle más adelante. Baste con apreciar, por ahora, que la embutición en frío proporciona resistencia a las paredes de la semienvuelta y las adelgaza, y adapta la forma de la zona de transición 20b.

Tras la embutición en frío S40, la siguiente etapa S50 consiste en conformar por rotación la región de extremo 20a, 20b de la semienvuelta 10 hasta obtener una tapa de extremo 40 en forma de cúpula sustancialmente cerrada, con un cuello 42 que se extiende hacia fuera. La conformación por rotación es convencional y es una técnica bien conocida que se utiliza a menudo para formar una parte de cuello en un recipiente cilíndrico. Se utiliza, por ejemplo, en los dos procedimientos de la técnica anterior referidos antes: CA 2.151.862 y JP 2000-202552. No se describirá, por lo tanto, adicionalmente.

La zona de transición 20b y el extremo más grueso 20a se forman en la tapa de extremo 40 y en el cuello 42 como sigue. La cuña lineal FTL forma la región superior de la parte cilíndrica de la semienvuelta. La primera región curvada R1 cubre el primer doblez de la tapa de extremo en forma de cúpula, ya que el material de la semienvuelta es curvado hacia el centro. La segunda región curvada R2 cubre el segundo doblez, del que parte la tapa de extremo 40 para formar el cuello. El cuello, en sí, se forma del material predominantemente procedente del extremo más grueso 42 de la semienvuelta.

Una alternativa a la conformación por rotación es la conformación en múltiples matrices, en la que la tapa y el cuello se forman por pequeñas deformaciones impartidas por matrices dotados de formas sucesivas.

Tras la rotación, la semienvuelta 10 es sometida a un tratamiento de disolución S60. El tratamiento de disolución se lleva a cabo calentando la aleación a una temperatura a la que la totalidad o la mayor parte de los elementos solubles son llevados a disolución (por lo común, entre 400°C y 545°C para aleaciones de aluminio), y, a

- continuación, enfriándola a una velocidad suficiente para que se mantengan la mayor de los elementos solubles o todos ellos en disolución. El tratamiento de disolución es seguido por un endurecimiento por envejecimiento para aumentar la resistencia de la aleación. En el ejemplo específico de la aleación AA7060, el envejecimiento se lleva a cabo como un procedimiento en dos estadios, de tal manera que la temperatura del segundo estadio es más elevada que la del primero. El tratamiento de disolución y el endurecimiento por envejecimiento son técnicas de tratamiento bien conocidas, y su aplicación a las aleaciones de aluminio está bien documentada. Los detalles de procedimiento estarán, por lo tanto, claros para una persona experta en la técnica y, por tanto, no es necesario un detalle adicional. Este tratamiento térmico proporciona al revestimiento interior las características mecánicas y la resistencia a la corrosión requeridas para su uso como una vasija de alta presión.
- En el estadio final S70 de la fabricación del revestimiento interior de acuerdo con esta invención, la semienvuelta 10 es, de nuevo, montada en un torno de CNC para su mecanizado. Haciendo referencia a la Figura 8, el torno se utiliza para recortar una región roscada 44 en la parte interna del cuello 42. Este requisito es una de las razones para la porción de cuello más gruesa: esta ha de tener el suficiente espesor de pared para permitir recortar la rosca. Un accesorio de válvula 46 es enroscado dentro del revestimiento interior con el fin de cerrar este extremo y en preparación para su uso.
- A fin de completar el procedimiento de fabricación del cilindro, el revestimiento interior 10 es reforzado con fibras de carbono de alta resistencia, impregnadas con resina epoxídica. Las fibras son arrolladas de una manera convencional, por ejemplo, tanto en la dirección helicoidal como en la circunferencial, para proporcionar resistencia tanto a las tensiones longitudinales como a las circunferenciales. Una capa de fibra de vidrio, también impregnada de resina epoxídica, es también arrollada sobre el cilindro para proporcionar protección adicional para la fibra de carbono. El compuesto de fibra / epoxídico así dispuesto en envolvimiento es, entonces, completamente curado. Por último, el cilindro envuelto es sometido a una operación de autodesgaste con el fin de aumentar la durabilidad al inducir tensiones de compresión residuales.
- Volviendo ahora a la operación de embutición en frío S40 y a la conformación de la zona de transición 20b, se expondrán a continuación los factores que contribuirán a determinar los detalles de estos parámetros.
- La magnitud del trabajo en frío inducido en el cilindro por medio de la embutición ha de ser suficiente para producir un tamaño de grano fino tras un procedimiento de recocido subsiguiente. Es decir, para evitar el crecimiento de grano secundario. Esta magnitud requerida depende de factores tales como la composición de la aleación y los pormenores del procedimiento de recocido. El crecimiento de grano secundario es particularmente propenso a darse con grados relativamente bajos de trabajo en frío. En la práctica, y para la aleación AA7060, el 20% de trabajo en frío es, probablemente, el requisito mínimo. Si, por otra parte, la magnitud de trabajo en frío es demasiado grande, la semienvuelta 10 se fracturará durante su tratamiento. Las aleaciones de la serie AA7xxx son relativamente difíciles de tratar y particularmente proclives a fracturarse durante una operación de embutición en frío. Se ha encontrado que límite superior del trabajo en frío para la AA7060 es el 38%.
- Esta limitación se aplica fundamentalmente a las porciones de tambor 18 y de corona 16 de la semienvuelta. La porción de extremo más gruesa 20 experimenta generalmente un menor trabajo en frío en el estadio de embutición S40, pero el procedimiento por el que el cuello es subsiguientemente formado altera adicionalmente la microestructura de la aleación, haciendo que el efecto del tratamiento previo sea menos significativo.
- Haciendo referencia, de nuevo, a las Figuras 4c-e, puede observarse que, a la hora de retirar la semienvuelta 10 del punzón 24, se aplica una fuerza desde el punzón a la zona de transición 20a orientada hacia dentro, que la fuerza hacia fuera. El efecto de esta fuerza se siente con la mayor intensidad al comienzo de la primera curvatura R1. Es decir, cuando la forma de cuña inicial comienza a curvarse hacia dentro después de una distancia FTL. El radio de curvatura se mantiene, por tanto, relativamente grande, a fin de distribuir esta fuerza a lo largo de una longitud de semienvuelta más larga y, en consecuencia, reducir la probabilidad de una fractura del material.
- Haciendo referencia a la Figura 7, es evidente que es deseable tener más material de semienvuelta en la región de cuello, esto es, en el extremo más grueso de la zona de transición 20a, a fin de dar soporte al roscado. Haciendo referencia, nuevamente, a la Figura 6, puede observarse que el efecto de reconformación de la zona de transición 20b a partir de la forma que cuña que fue el resultado de la etapa de mecanizado inicial S20, es la retirada de algo de material de la parte media de la cuña, y su reubicación en la parte más gruesa. La reducción de material y el gran radio de curvatura de la primera parte no lineal contribuyen a la embutición en frío y a la retirada de la semienvuelta del punzón de embutición en frío. La adición de material a la parte superior contribuye al procedimiento de conformación por rotación u otro procedimiento de conformación del cuello. El valor de R1 es, preferiblemente, en torno al doble del valor de R2.
- La Figura 9 expone las etapas implicadas en el diseño de la zona de transición para una construcción de revestimiento interior particular. Esto se ha hecho con referencia al procedimiento de embutición en frío y es, esencialmente, un repaso de los requisitos a lo largo del procedimiento de fabricación. Inicialmente, según se indica por la referencia S80, se escogen los espesores posteriores a la embutición para la porción de cuello y la porción de tambor de la semienvuelta, para conseguir los objetivos del diseño de cilindro final, por ejemplo, la resistencia a la presión de acuerdo con el estándar de diseño, el peso del cilindro, etc. Las tolerancias de la relación de embutición

determinan, entonces, según se indica por la referencia S82, los espesores previos a la embutición del tambor y de las regiones de extremo. Tras la embutición en frío, la experiencia ha demostrado que, para las aleaciones AA7060, el ángulo de cuña α está comprendido, preferiblemente, entre $1,5^\circ$ y 3° . R1 y R2 (para el punzón) se determinan, según se indica por la referencia S84, por las siguientes fórmulas:

5

$$R1 = \frac{1.515 \times (Tfm - FTT)}{A}$$

$$R2 = \frac{675 \times (Tfm - FTT)}{A}$$

10

donde Tfm es el espesor de la región de extremo 20a de la semienvuelta, FTT es el espesor en el extremo de la parte lineal conformada en cuña de la zona de transición, y A es una constante. El valor de A está comprendido entre 11 y 60.

A partir de los valores de FTL, R1 y R2, puede determinarse, según se indica por la referencia S86, la longitud de la zona de transición 20b. Esta puede utilizarse para determinar, según se indica por la referencia S88, la longitud antes de la embutición en frío y, por tanto, la forma y el tamaño de cuña que ha de mecanizarse inicialmente en la semienvuelta.

15

En el ejemplo específico en que están basadas las ilustraciones de las Figuras 3 y 5, la embutición en frío no se distribuye uniformemente en torno a la semienvuelta 10. La longitud de la semienvuelta 10 se incrementa de 235 mm a 290 mm. Esto es, una extensión del 23%. La región de tambor 18 se ve reducida de 1,75 mm a 1,3 mm, y la región de extremo 20a, de 4,4 mm a 4,0 mm. Es decir, en el 26% y en el 9,1% respectivamente. A fin de obtener una medida de la magnitud del trabajo en frío llevado a cabo en la semienvuelta 10 en este estadio de embutición S40, una medida útil es la relación entre las áreas superficiales de la parte de corona 16 antes y después de la embutición.

20

Se fabricó un revestimiento interior utilizando aleación de aluminio AA7060, y su comportamiento se comparó con el de un revestimiento interior de aleación AA6061 típico de la técnica anterior. Se encontró que tanto el límite elástico como la resistencia última a la tracción del revestimiento interior de AA7060 se habían incrementado.

25

REIVINDICACIONES

1.- Un método para fabricar un revestimiento interior para uso en una vasija de presión, de tal manera que método comprende las etapas de:

- 5 (a) Proporcionar una semienvuelta (10) en forma de copa, de aleación de aluminio, con un extremo de corona cerrado (16) y una parte superior abierta, de tal modo que la semienvuelta tiene una región de tambor (18) con paredes más delgadas, una región de extremo (20a) situada en la parte superior abierta, con paredes más gruesas, y una zona de transición intermedia (20b) de un espesor gradualmente estrechado;
- 10 (b) Embutir en frío la semienvuelta utilizando un punzón (24) con paredes generalmente cilíndricas y una región superior (24a) dotada de cierta forma, que, durante la operación de embutición, se encuentra con la zona de transición (20b) de la semienvuelta;
- (c) Conformar la región de extremo (20a) y la zona de transición (20b) de manera que se cierre la parte superior abierta, y formar un cuello (32) que se extiende desde esta; y
- (d) Recortar una rosca en el cuello.

15 2.- Un método de acuerdo con la reivindicación 1, en el cual la región superior (24a) dotada de cierta forma del punzón se extiende generalmente hacia dentro y la etapa de embutición en frío incluye las etapas de:

- (i) empujar el punzón (24) y la semienvuelta (10) al interior de una matriz de diámetro más pequeño que al menos un diámetro exterior de la región de extremo (20a) de la semienvuelta; y
- (ii) extraer el punzón de la semienvuelta (10) de un modo tal, que la parte cilíndrica del punzón forma, adicionalmente, la zona de transición (20b) de la semienvuelta.

20 3.- Un método de acuerdo con la reivindicación 2, en el cual la etapa b(ii) tiene como resultado un aplanamiento de una superficie interior de la zona de transición (20b) de la semienvuelta.

4.- Un método de acuerdo con la reivindicación 2 o la reivindicación 3, en el cual la región superior conformada (24a) del punzón comprende una primera porción curvada hacia dentro, de radio de curvatura convexo R1, adyacente a una segunda porción curvada hacia dentro, de radio de curvatura cóncavo R2.

25 5.- Un método de acuerdo con la reivindicación 4, en el cual R1 es mayor que R2.

6.- Un método de acuerdo con la reivindicación 5, en el cual $R1 = 2 \times R2 \pm 20\%$.

7.- Un método de acuerdo con la reivindicación 6, en el cual R1 y R2 se establecen por las ecuaciones

$$R1 = \frac{1.515 \times (Tfm - FTT)}{A}$$

$$R2 = \frac{675 \times (Tfm - FTT)}{A}$$

30 donde la región de extremo (20a) de la semienvuelta, tras la embutición, tiene un espesor Tfm, la región de transición tiene una parte de cuña, tras la embutición, con un diámetro máximo FTT, y A es una constante de valor comprendido entre 11 y 60.

35 8.- Un método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 2 a 7, en el cual la matriz tiene un diámetro más pequeño que el de la región de tambor (18) de la semienvuelta.

9.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la Etapa (a), la etapa de proporcionar la semienvuelta en forma de copa, incluye las etapas de:

- 40 (i) Proporcionar a la semienvuelta (10) en forma de copa un extremo de corona cerrado (16) y una parte superior abierta; y
- (ii) Mecanizar la semienvuelta en forma de copa para producir la semienvuelta con la región de tambor (18) con paredes más delgadas, la región de extremo (20a) con paredes más gruesas, y la zona de transición (20b) de espesor gradualmente estrechado.

- 10.- Un método de acuerdo con la reivindicación 9, en el cual la semienvuelta (10) en forma de copa se forma extrudiendo la aleación de aluminio.
- 11.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la Etapa (c) se lleva a cabo por conformación por rotación.
- 5 12.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la aleación de aluminio es una aleación resistente, tal como una seleccionada de entre las series AA7xxx o AA2xxx.
- 13.- Un método de acuerdo con la reivindicación 12, en el cual la aleación de aluminio se selecciona de entre la serie AA7xxx.
- 14.- Un método de acuerdo con la reivindicación 13, en el cual la aleación de aluminio es la AA7060.
- 10 15.- Un método de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en el cual la etapa de embutición en frío implica trabajar en frío la semienvuelta en una magnitud de entre el 15 y el 38%, y preferiblemente entre el 25 y el 38%.

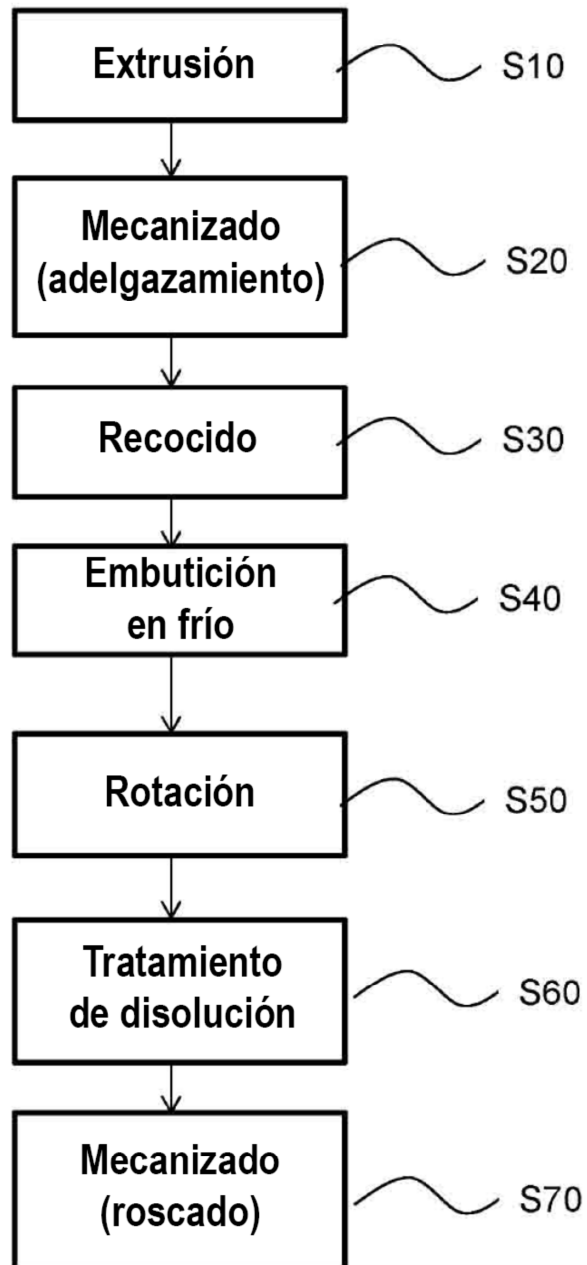


Figura 1

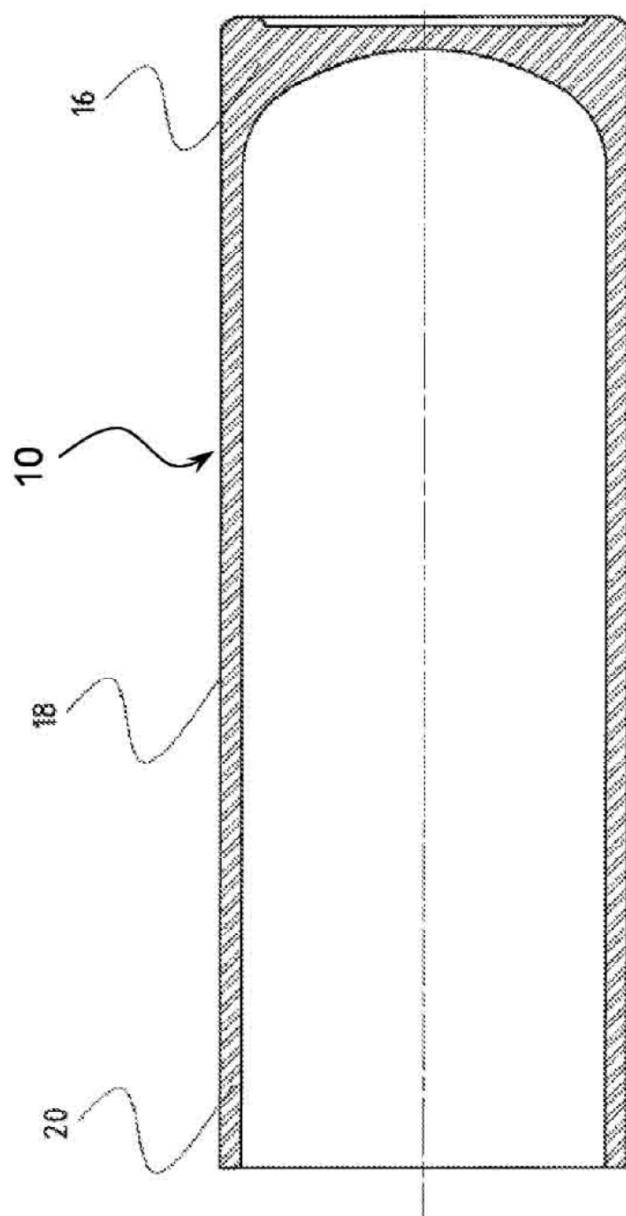


Figura 2

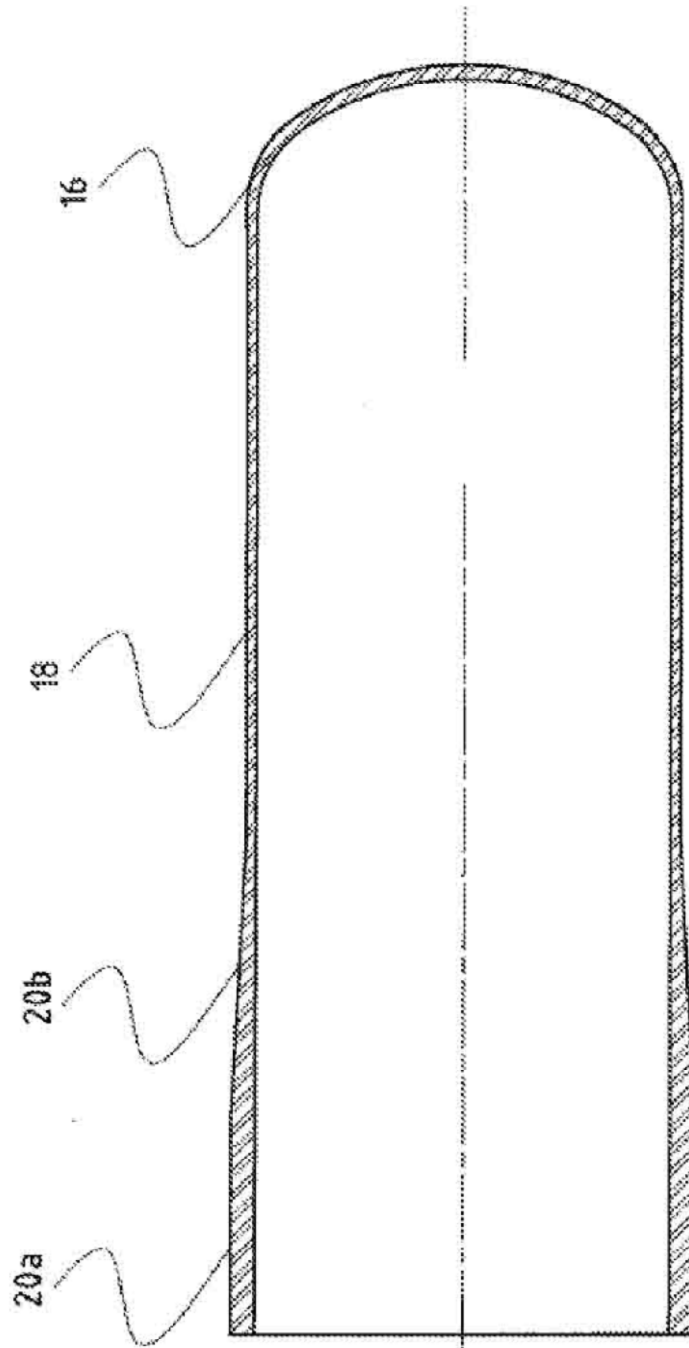


Figura 3

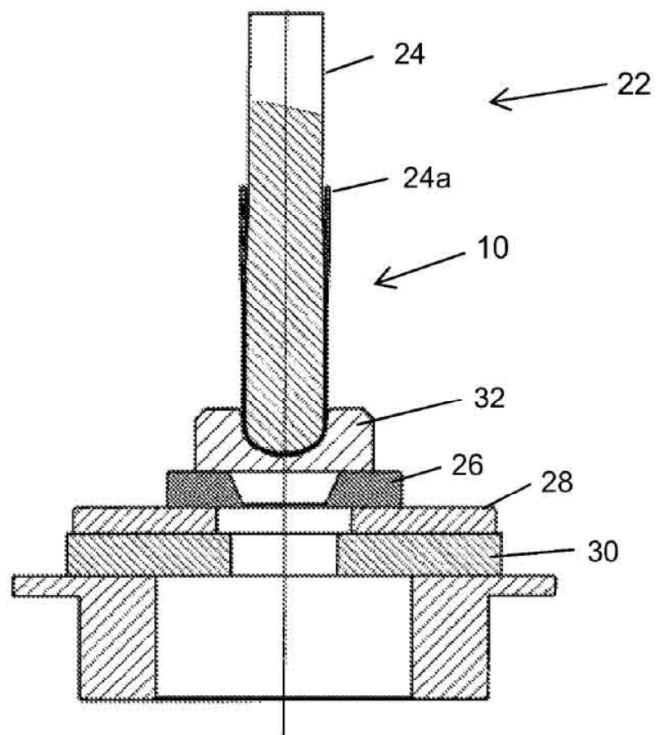


Figura 4a

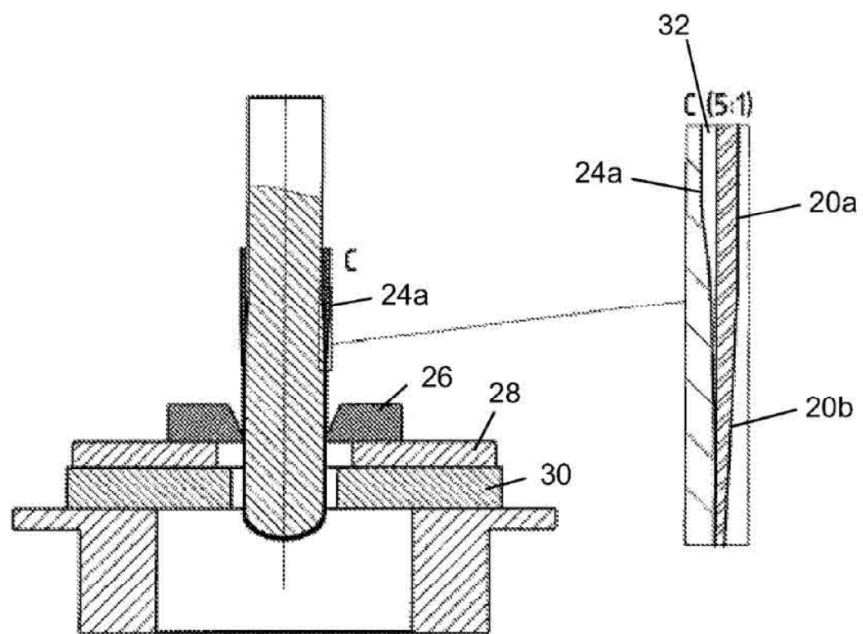


Figura 4c

Figura 4b

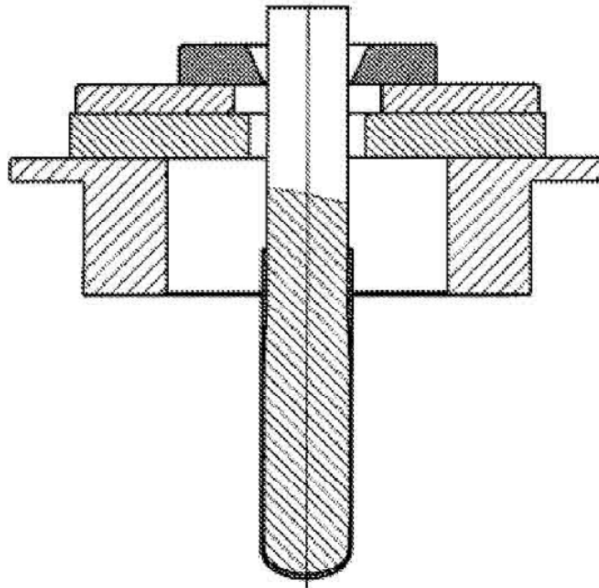


Figura 4d

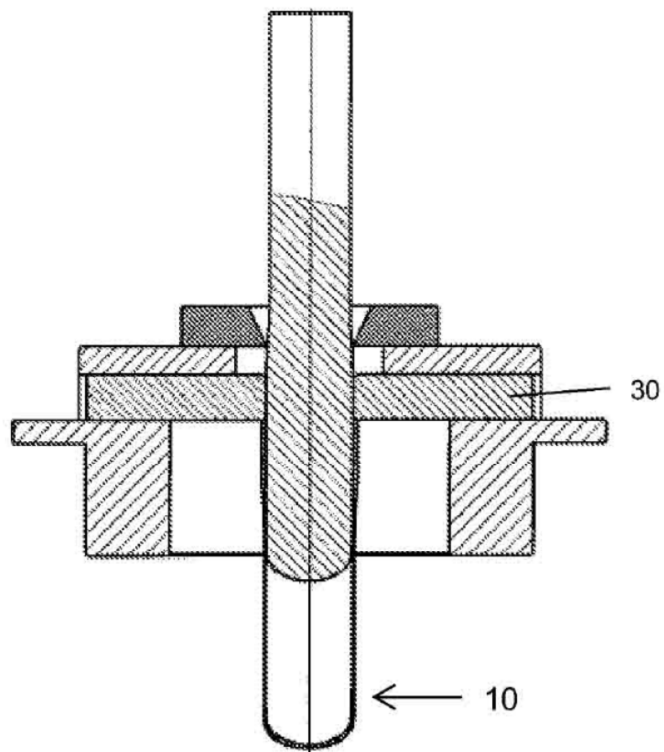


Figura 4e

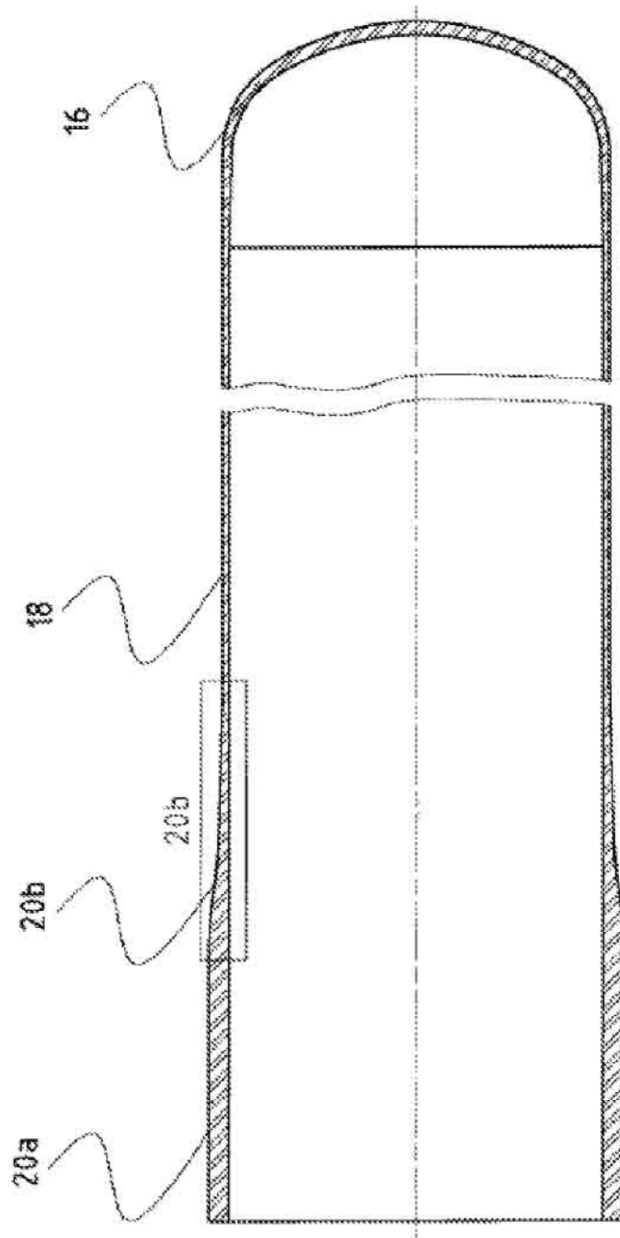


Figure 5

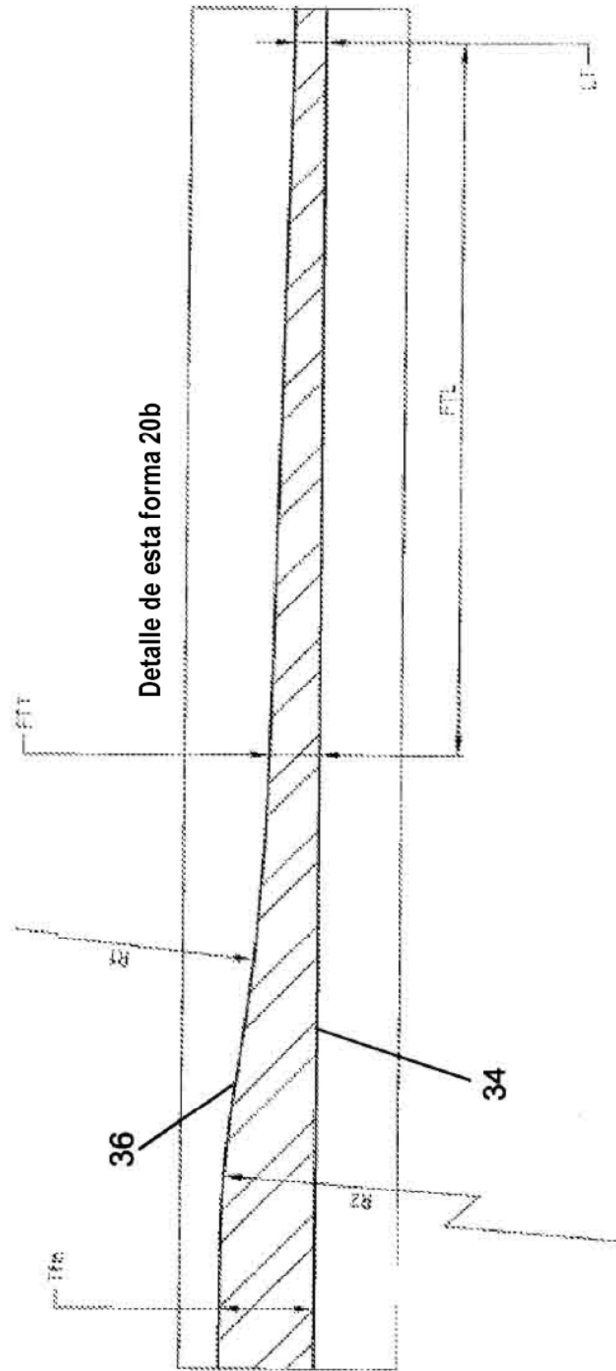


Figura 6

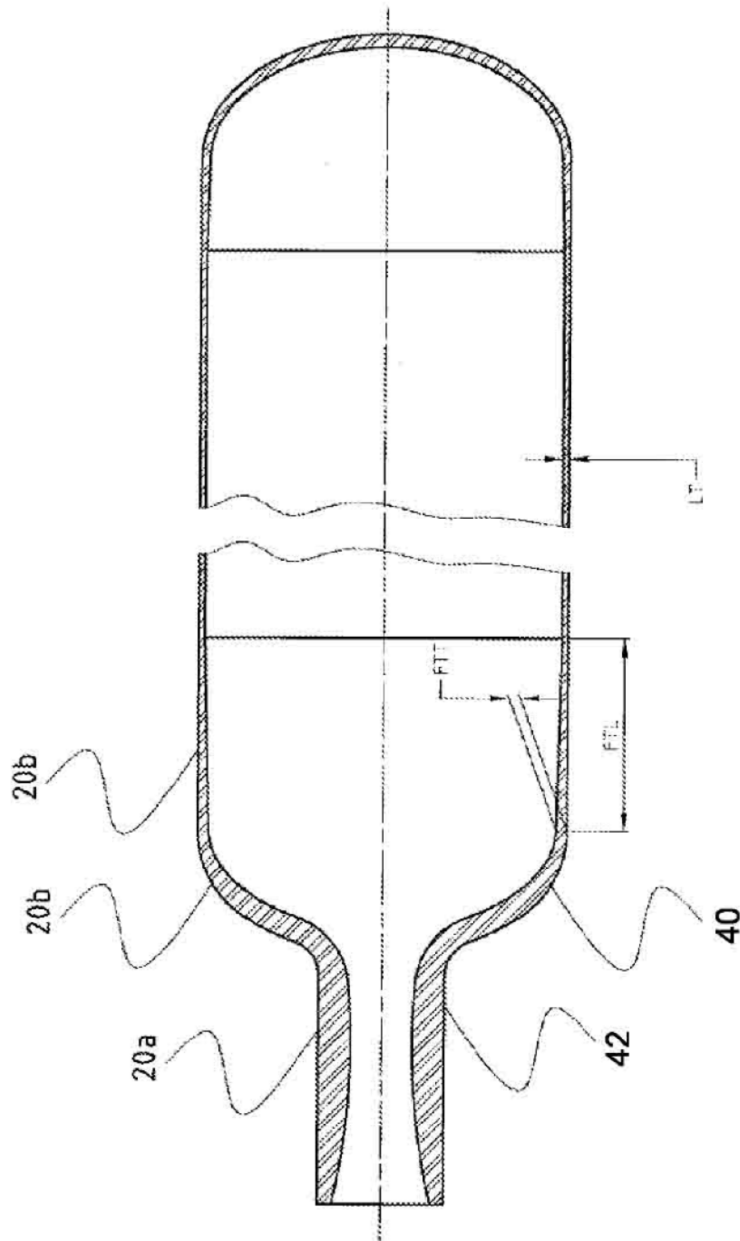


Figura 7

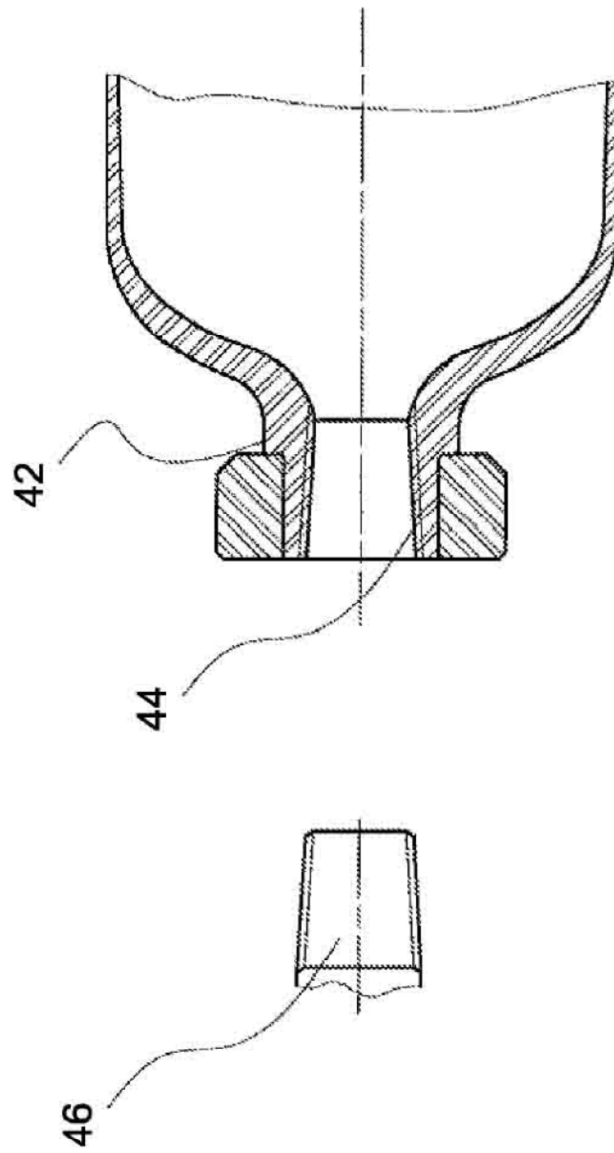


Figure 8

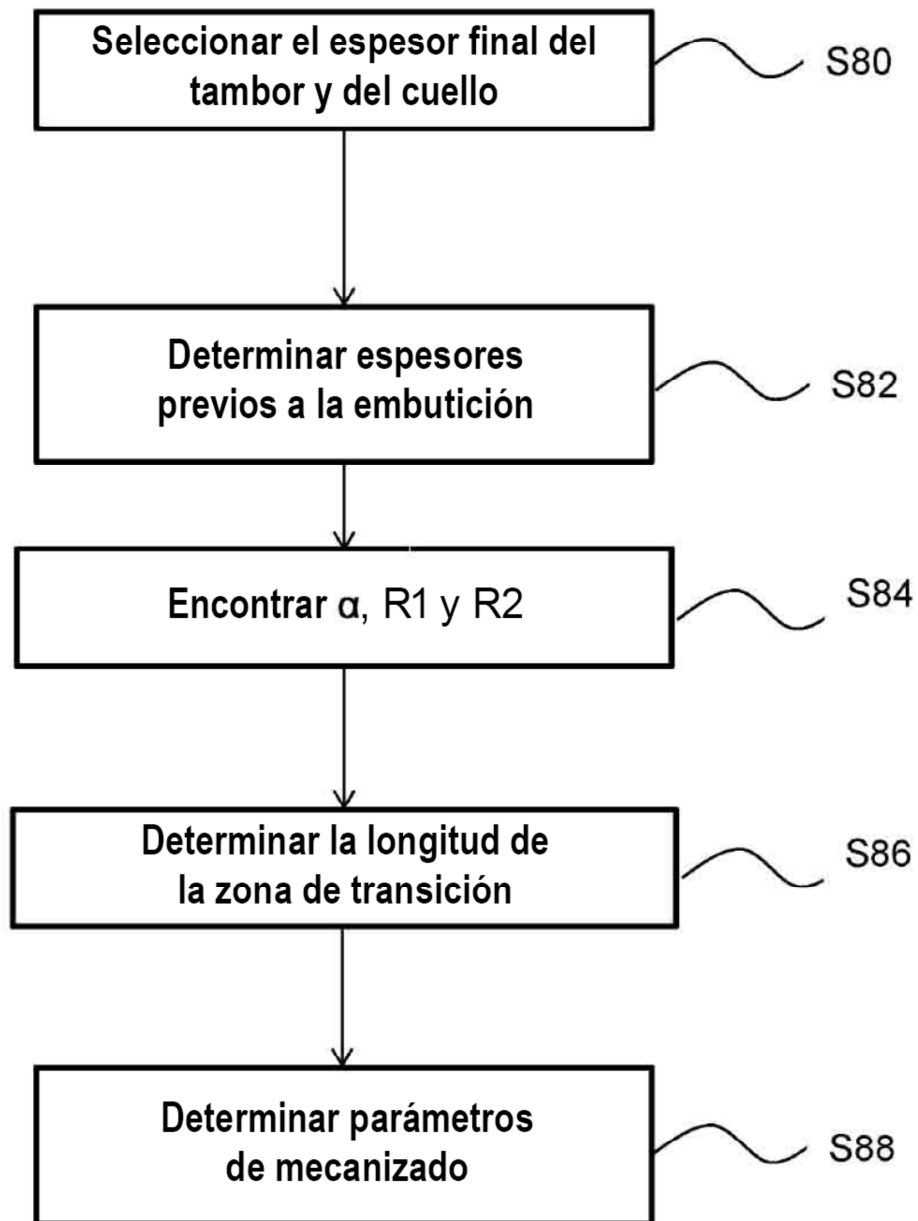


Figura 9