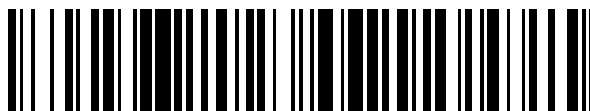


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 661 816**

51 Int. Cl.:

B21D 22/16 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **29.09.2011 PCT/GB2011/001424**

87 Fecha y número de publicación internacional: **05.04.2012 WO12042221**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.09.2011 E 11767458 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.01.2018 EP 2621647**

54 Título: **Proceso de conformación por rotación y aparato para fabricar artículos mediante conformación por rotación**

30 Prioridad:

01.10.2010 GB 201016611

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

04.04.2018

73 Titular/es:

**CAMBRIDGE ENTERPRISE LIMITED (100.0%)
The Old Schools Trinity Lane
Cambridge, Cambridgeshire CB2 1TN, GB**

72 Inventor/es:

**ALLWOOD, JULIAN, M. y
MUSIC, OMER**

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 661 816 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

Proceso de conformación por rotación y aparato para fabricar artículos mediante conformación por rotación

5 **Antecedentes de la invención****Campo de la invención**

10 La presente invención se refiere a un proceso de conformación por rotación y a un aparato para la fabricación de artículos mediante conformación por rotación. La invención tiene, en particular, pero no necesariamente de forma exclusiva, su aplicación en el repujado.

Técnica relacionada

15 El repujado se refiere a un grupo de procesos de conformación que permiten la producción de componentes de láminas de metal huecos, con simetría axial (axisimétrico). La técnica básica de rotación, que es común en este grupo de procesos, consiste en fijar una preforma de lámina de metal contra un mandril sobre un torno de repulsar y conformar gradualmente la preforma sobre la superficie del mandril mediante un rodillo, bien en una única etapa o una serie de etapas.

20 Una revisión detallada de bibliografía académica relacionada con la conformación por rotación se ha llevado a cabo y divulgado por Music y col. (2010) [O. Music, J.M. Allwood, K. Kawai "A review of the mechanics of metal spinning" Journal of Materials Processing Technology 210 (2010) 3-23], cuyo contenido completo se incorpora al presente documento por referencia.

25 Resulta de interés aquí establecer una distinción entre los términos de conformación por rotación convencional, conformación por estirado y conformación de tubos, todos los cuales se consideran procesos de conformación por rotación. Una característica de los tres procesos es que normalmente permiten la producción de partes huecas, de rotación simétrica. La principal diferencia entre los tres resulta aparente en el espesor de la pared de la parte conformada. En la conformación por rotación convencional, el espesor de la pared permanece casi constante a lo largo de todo el proceso, de modo que el espesor de pared final de la parte conformada es sustancialmente igual al espesor de la preforma. Por otro lado, el espesor de pared se reduce en la conformación por estirado y conformación de tubos; en la conformación por estirado, el espesor de la parte queda dictado por el ángulo entre la pared del componente y el eje de rotación; en la conformación de tubos, el espesor final se define por el aumento en la longitud de la pieza de trabajo. Por otro lado, mientras que en la conformación por rotación convencional y conformación de tubos las partes pueden conformarse en una única etapa o en un número de etapas, en la conformación por estirado, la conformación se realiza en una única etapa.

40 En la Fig. 1 se ilustra un proceso de conformación por rotación convencional, en el cual una pieza de trabajo de lámina de metal inicial 10 se sostiene en un aparato de repujado sujeta por abrazaderas entre un contrapunto 12 y un mandril 14. El mandril 14, la pieza de trabajo de lámina de metal 10 y el contrapunto son rotatorios alrededor del eje de rotación principal A. La lámina de rotación se presiona hacia el mandril 14 usando un rodillo 16, apoyado por el brazo de la roldana 18 y es rotatorio alrededor del eje del rodillo X. La Fig. 2 muestra ejemplos de geometría factibles conformables por procesos de repujado convencionales conocidos. Todas son axisimétricas y, como se puede observar, la gama de formas axisimétricas factibles es relativamente amplia.

50 En la Fig. 3 se ilustra un proceso de conformación por estirado. La pieza de trabajo de lámina de metal 20 tiene un espesor t_0 . La pieza de trabajo de lámina de metal inicial 20 se sostiene en un aparato de repujado sujeta por abrazaderas entre un contrapunto 22 y un mandril 24. El mandril 24, la pieza de trabajo de lámina de metal 20 y el contrapunto son rotatorios alrededor del eje de rotación principal A. La lámina de rotación 20a se presiona hacia el mandril 24 usando un rodillo 26, apoyado por el brazo de la roldana 28. En el proceso de conformación por estirado, el espesor de la pieza de trabajo de metal se reduce sustancialmente, a t_1 , en el que $t_1 < t_0$. En algunos procesos de conformación por estirado, el diámetro total de la pieza de trabajo (medido de forma perpendicular al eje A) es el mismo después del proceso de conformación por rotación que antes del proceso de conformación por rotación. El límite de la conformación por estirado se proporciona por el ángulo mínimo α que puede conseguirse en la geometría finalizada, en la que:

$$t_1 = t_0 \sin \alpha$$

60 Según α se disminuye, la reducción necesaria en el espesor de pared para conseguir el valor requerido para α se vuelve muy significativa, llevando al fallo de la pieza de trabajo en la que el valor requerido para α es demasiado bajo. La Fig. 4 muestra ejemplos de geometría factibles conformables mediante procesos de conformación por estirado.

65 Algunos trabajadores han reconocido que el repujado está limitado a la producción de geometría axialmente simétricas. Por lo tanto, se ha realizado algún trabajo para intentar modificar los procesos de repujado para producir

geometrías no axialmente simétricas.

Por ejemplo, el documento US 2005/0183484 desvela el uso de un sistema de control para controlar la fuerza de presión de una herramienta de rodillo contra una pieza de trabajo en la que el mandril tiene una geometría no axialmente simétrica. Durante el proceso, la pieza de trabajo se conforma a la forma externa del mandril. Un proceso similar se establece en el documento US 2008/0022741.

"Fertigungsverfahren Umformen" [Manufacturing processes: forming], 5ª edición, 2006, Fritz Klocke and Wilfried König, publicado por Springer Verlag ISBN 978-3-540-23650.4, páginas 390 a 393, desvela un aparato de conformación por rotación en el cual un rodillo conformador se presiona contra la superficie externa de una pieza de trabajo en rotación y un contrarodillo se presiona contra la superficie interna de la pieza de trabajo, alineado directo con el rodillo conformador.

El documento US-A-3.287.951, sobre el cual el preámbulo de las reivindicaciones 1 y 13 está basado, desvela un proceso y un aparato para reducir por rodillo el espesor de pared del anillo de una pieza de trabajo con forma de tubo, con un rodillo actuando sobre la superficie externa de la pieza de trabajo y otro rodillo actuando sobre la superficie interna de la pieza de trabajo.

Sumario de la invención

Los inventores han reconocido que aunque el documento US 2005/0183484 y el documento US 2008/0022741 pueden proporcionar procesos para la fabricación de artículos con geometrías no axialmente simétricas, se ven afectados por la desventaja de que la geometría no axialmente simétrica requerida específica debe proporcionarse, en primer lugar, en la forma de un mandril conformado, antes de que el proceso de repujado se lleve a cabo. Aunque esto puede ser aceptable cuando el mandril se usará muchas veces para producir muchos artículos conformados de forma idéntica, este proceso no es flexible ya que incluso con mínimos cambios a la geometría requerida necesita la fabricación de un nuevo mandril.

Los presentes inventores reconocen que existe un problema similar en relación con la fabricación de artículos que tienen geometrías axialmente simétricas.

La presente invención busca, por lo tanto, abordar uno o más de los anteriores problemas y preferentemente mejora e incluso supera uno o más de estos problemas.

En un primer aspecto, la presente invención proporciona un proceso de conformación por rotación tal como se establece en la reivindicación 1.

En un segundo aspecto, la presente invención proporciona un aparato para la fabricación de un artículo de una forma requerido a partir de una pieza de trabajo mediante conformación por rotación, tal como se establece en la reivindicación 12.

A continuación se indicarán características preferidas y/o opcionales de la invención. Estas son aplicables de forma única o en cualquier combinación con cualquier aspecto de la invención, a menos que el contexto requiera lo contrario.

Se prefiere que la pieza de trabajo esté formada de metal. Puede usarse cualquier metal operativo adecuado, por ejemplo, acero, latón, aluminio (y/o sus aleaciones), titanio (y/o sus aleaciones), etc. Sin embargo, es posible llevar a cabo la conformación por rotación usando otros materiales de partida operativos, por ejemplo, materiales plásticos tales como PVC.

La pieza de trabajo se encuentra normalmente en forma de lámina. Por tanto, las superficies internas y externas de la pieza de trabajo inicial se designan por la orientación de la pieza de trabajo en el aparato y por la forma requerida del artículo a conformar.

La pieza de trabajo puede tener un espesor inicial uniforme. Sin embargo, esto no es necesariamente esencial, puesto que los procesos de conformación por rotación pueden llevarse a cabo usando pieza de trabajo de un espesor inicial no uniforme.

Se prefiere, al menos para algunas realizaciones de la invención, que el proceso de conformación por rotación no cambie sustancialmente el espesor de la pieza de trabajo. Por tanto, con referencia a la nomenclatura presentada anteriormente, se prefiere que el proceso de conformación por rotación sea un tipo de conformación por rotación convencional, en lugar de conformación por estirado.

Es posible considerar el ángulo entre la superficie interna de la pieza de trabajo y el eje de rotación de la pieza de trabajo durante el proceso de conformación por rotación. De forma más general (cuando el ángulo varía con la posición de la pieza de trabajo), es posible definir un ángulo como el ángulo α entre el eje de rotación A de la pieza

de trabajo y la tangente a la superficie interna de la pieza de trabajo en una posición en particular, trazándose la tangente en un plano que contiene el eje de rotación A de la pieza de trabajo. En la que, en esa posición en particular, el espesor inicial de la pieza de trabajo es t_0 a y el espesor final de la pieza de trabajo es t_1 , se prefiere que se cumpla la siguiente desigualdad (1), para los valores de α inferiores a 90° :

5
$$t_1 > t_0 \sin \alpha \quad \text{desigualdad (1)}$$

10 Cuando se cumple la desigualdad (1), el espesor de la pieza de trabajo después de la conformación por rotación es superior de la que se esperaría si el proceso de conformación por rotación fuera un proceso de conformación por estirado.

15 Al menos en algunas posiciones sobre el artículo conformado mediante conformación por rotación, el ángulo α puede ser igual o inferior a 45° , más preferentemente igual o inferior a 40° , igual o inferior a 35° , igual o inferior a 30° , igual o inferior a 25° , igual o inferior a 20° , igual o inferior a 15° , igual o inferior a 10° , igual o inferior a 5° , igual o inferior a 0° , igual o inferior a -10° , o igual o inferior a -20° . Preferentemente, cualquiera una de estas limitaciones sobre el valor de α puede cumplirse para un área de la superficie interna del artículo que se corresponde con al menos el 5 % del área de superficie interna total del artículo. Más preferentemente, cualquiera una de estas limitaciones sobre el valor de α puede cumplirse para un área de la superficie interna del artículo que se corresponde con al menos el 10 %, al menos 20 %, al menos 30 % o al menos 40 % del área de superficie interna total del artículo.

20 La forma requerida del artículo puede ser una forma axialmente simétrica. Sin embargo, en una algunas realizaciones preferentes, la forma requerida del artículo puede ser una forma no axialmente simétrica.

25 Por ejemplo, considerando la forma en sección transversal del artículo, en la que la sección transversal se toma de forma perpendicular al eje de rotación, la forma en sección transversal es normalmente no circular. La forma puede, por ejemplo, ser elíptica, oval, forma curvada regular, forma curvada irregular, triangular, rectangular, poligonal regular, poligonal irregular o cualquier combinación de estas formas (por ejemplo, una forma generalmente curvada que incluye al menos una parte de pared recta, o una forma generalmente poligonal que incluye al menos una parte de pared curvada). En algunas realizaciones, la forma en sección transversal (tomada de forma perpendicular al eje de rotación) incluye una parte reentrante. El ángulo α puede variar alrededor del perímetro de la forma en sección transversal, por ejemplo, en un 5 % o más.

35 Considerando la forma en sección transversal del artículo en la que la sección transversal se toma a lo largo (o paralelo) del eje de rotación, la forma puede considerarse en términos de la variación del ángulo α con distancia a lo largo del eje de rotación. Esta variación puede incluir al menos una parte (por ejemplo, al menos el 5 % de la altura del artículo a lo largo del eje de rotación) de variación lineal de α con una distancia D a lo largo del eje de rotación. De modo adicional o alternativo, esta variación puede incluir al menos una parte (por ejemplo, al menos el 5 % de la altura del artículo a lo largo del eje de rotación) en el que el primer derivado $d\alpha/dD$ es positivo o negativo.

40 De modo adicional o alternativo, esta variación puede incluir al menos una parte (por ejemplo, al menos el 5 % de la altura del artículo a lo largo del eje de rotación) en el que el segundo derivado $d^2\alpha/dD^2$ es positivo o negativo.

45 El segundo soporte se apoya contra el lado opuesto (interno o externo) de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora. Por tanto, si la herramienta conformadora se apoya contra la superficie externa, el segundo soporte se apoya contra la superficie interna y viceversa.

50 De manera similar, el primer soporte se apoya contra la superficie opuesta (interna o externa) de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora.

55 Durante la conformación por rotación y/o en términos del artículo acabado, es posible definir un extremo proximal y un extremo distal de la pieza de trabajo y/o del artículo acabado. El extremo proximal está más cerca que el extremo distal a una región de montaje de la pieza de trabajo en la que la región de la pieza de trabajo se monta de forma rotatoria en el aparato (por ejemplo, mediante fijación), cuando se considere a lo largo del eje de rotación de la pieza de trabajo. Preferentemente, el primer soporte se dispone de forma proximal al segundo soporte.

60 Preferentemente, se proporciona un tercer soporte para que se apoye contra la superficie interna o externa de la pieza de trabajo. Como con el primer y segundo soportes, la pieza de trabajo gira preferentemente con respecto al primer y segundo soportes. Preferentemente, el tercer soporte se ubica de forma distancial al primer soporte. El tercer soporte se ubica preferentemente de forma lateral al segundo soporte.

65 Preferentemente, el segundo y tercer soportes están desplazados lateralmente del primer soporte. Más preferentemente, el segundo y tercer soportes están desplazados lateralmente en direcciones opuestas del primer soporte. Este desplazamiento lateral del primer soporte puede ser sustancialmente igual para el segundo y tercer soportes. Preferentemente, la distancia entre el segundo y tercer soportes es inferior que la distancia entre el primer y segundo soportes. Preferentemente, la distancia entre el segundo y tercer soportes es inferior que la distancia

entre el primer y tercer soportes. Preferentemente, la distancia entre el primer y segundo soportes es sustancialmente igual que la distancia entre el primer y tercer soportes.

5 Por tanto, en una algunas realizaciones preferentes, el primer, segundo y tercer soportes se disponen en una configuración triangular.

Dependiendo de la forma requerida para el artículo, el segundo y/o tercer soportes pueden estar desplazados radialmente del primer soporte.

10 Los presentes inventores han encontrado, basándose en un cuidadoso análisis de procesos de conformación por rotación, que el mandril usado en procesos de conformación por rotación conocidos solo hace contacto con la pieza de trabajo en tres ubicaciones principales. Estas ubicaciones varían dependiendo de la posición relativa de la herramienta conformadora sobre la pieza de trabajo y dependiendo de la rotación de la pieza de trabajo. Por tanto, el papel del mandril puede tomarse por los soportes usados en la presente invención. Por otro lado, tal y como se
15 explica más adelante, es posible simular el uso de mandriles de distintas formas, mediante un control apropiado de la posición de los soportes internos. Por tanto, en general, se prefiere que el primer, segundo y tercer soportes se proporcionen al menos en los puntos de contacto más cercano entre la pieza de trabajo y un mandril notional que se requeriría para conformar el artículo en la forma requerida a partir de la pieza de trabajo usando la herramienta conformadora.

20 La herramienta conformadora se ubica preferiblemente para proporcionar la forma requerida para el artículo. La herramienta conformadora puede ubicarse distancialmente del segundo y/o tercer soporte (por ejemplo, donde el ángulo α es inferior a 90°). Sin embargo, en algunas realizaciones, el ángulo α puede ser (al menos localmente) inferior a 90° , en cuyo caso la herramienta conformadora se ubicaría proximalmente para el segundo y/o tercer
25 soporte. La herramienta conformadora normalmente se desplaza radialmente del segundo y/o tercer soportes. La herramienta conformadora puede ubicarse sustancialmente alineada con el primer soporte. El segundo y/o tercer soportes pueden estar desplazados lateralmente de la herramienta conformadora.

30 Preferentemente, la herramienta conformadora incluye al menos un rodillo conformador. Normalmente, el rodillo conformador es giratorio con respecto a un brazo de la roldana conformador. El uso de un rodillo conformador reduce las pérdidas por fricción entre la herramienta conformadora y la pieza de trabajo en rotación. Preferentemente, la herramienta conformadora se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación bajo control de la máquina. Normalmente, este control de máquina es control numérico computarizado (CNC). Usando tal enfoque permite que la posición de la herramienta conformadora sea controlada de una forma muy
35 precisa a altas velocidades, de modo que la herramienta conformadora puede seguir una trayectoria requerida alrededor de la pieza de trabajo a velocidades que se corresponden con la velocidad de rotación de la pieza de trabajo. Preferentemente, la posición de la herramienta conformadora se puede controlar en la dirección proximal-distal (paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo), y/o en la dirección radial, y/o en la dirección lateral (perpendicular a la dirección radial y a la dirección proximal-distal).

40 Preferentemente, el primer soporte incluye al menos un primer rodillo de soporte. Normalmente, el primer rodillo de soporte es giratorio con respecto a un primer brazo de la roldana de soporte. El uso de un primer rodillo de soporte reduce las pérdidas por fricción entre el primer soporte y la pieza de trabajo en rotación. Preferentemente, el primer soporte se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación bajo control de la máquina. Normalmente,
45 este control de máquina es control numérico computarizado (CNC). Usando tal enfoque permite que la posición del primer soporte sea controlada de una forma muy precisa a altas velocidades, de modo que el primer soporte puede seguir una trayectoria requerida alrededor de la pieza de trabajo a velocidades que se corresponden con la velocidad de rotación de la pieza de trabajo. Preferentemente, la posición del primer soporte se puede controlar en la dirección proximal-distal (paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo), y/o en la dirección radial, y/o en la dirección lateral
50 (perpendicular a la dirección radial y a la dirección proximal-distal).

55 Preferentemente, el segundo soporte incluye al menos un segundo rodillo de soporte. Normalmente, el segundo rodillo de soporte es giratorio con respecto a un segundo brazo de la roldana de soporte. El uso de un segundo rodillo de soporte reduce las pérdidas por fricción entre el segundo soporte y la pieza de trabajo en rotación. Preferentemente, el segundo soporte se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación bajo control de la máquina. Normalmente, este control de máquina es control numérico computarizado (CNC). Usando tal enfoque permite que la posición del segundo soporte sea controlada de una forma muy precisa a altas velocidades,
60 de modo que el segundo soporte puede seguir una trayectoria requerida alrededor de la pieza de trabajo a velocidades que se corresponden con la velocidad de rotación de la pieza de trabajo. Preferentemente, la posición del segundo soporte se puede controlar en la dirección proximal-distal (paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo), y/o en la dirección radial, y/o en la dirección lateral (perpendicular a la dirección radial y a la dirección proximal-distal).

65 Preferentemente, el tercer soporte incluye al menos un tercer rodillo de soporte. Normalmente, el tercer rodillo de soporte es giratorio con respecto a un tercer brazo de la roldana de soporte. El uso de un tercer rodillo de soporte reduce las pérdidas por fricción entre el tercer soporte y la pieza de trabajo en rotación. Preferentemente, el tercer

soporte se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación bajo control de la máquina. Normalmente, este control de máquina es control numérico computarizado (CNC). Usando tal enfoque permite que la posición del tercer soporte sea controlada de una forma muy precisa a altas velocidades, de modo que el tercer soporte puede seguir una trayectoria requerida alrededor de la pieza de trabajo a velocidades que se corresponden con la velocidad de rotación de la pieza de trabajo. Preferentemente, la posición del tercer soporte se puede controlar en la dirección proximal-distal (paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo), y/o en la dirección radial, y/o en la dirección lateral (perpendicular a la dirección radial y a la dirección proximal-distal).

Preferentemente, el primer brazo de la roldana de soporte se extiende distancialmente en la pieza de trabajo desde una estructura proximal. De manera similar, Preferentemente el primer brazo de la roldana de soporte se extiende distancialmente en la pieza de trabajo desde una estructura proximal. De manera similar, preferentemente el tercer brazo de la roldana de soporte se extiende distancialmente en la pieza de trabajo desde una estructura proximal. Las estructuras proximales del segundo y tercer brazo de la roldana de soporte pueden estar conectadas entre sí, pero se prefiere que las posiciones del segundo y tercer soportes sean controlables de forma independiente.

En algunas realizaciones, el proceso puede corresponderse a un proceso de conformación por estirado, en el cual el mandril conocido de los procesos de conformación por estirado de la técnica anterior se reemplaza por los soportes descritos anteriormente. En tal proceso, el espesor de la pieza de trabajo se reduce normalmente dependiendo del ángulo α , como se muestra en la ecuación (2):

$$t_1 = t_0 \sin \alpha \quad \text{ecuación (2)}$$

Es posible llevar a cabo el proceso de conformación por estirado usando el primer, segundo y (opcionalmente) tercer soportes identificados anteriormente. Sin embargo, preferentemente, el proceso de conformación por estirado tiene adicionalmente un cuarto soporte, la pieza de trabajo girando con respecto al cuarto soporte. Preferentemente, el cuarto soporte se ubica sustancialmente alineado con la principal herramienta conformadora. Por tanto, el cuarto soporte está preferiblemente ubicado distancialmente pero axialmente alineado con el primer soporte. Por otro lado, el cuarto soporte se ubica preferiblemente entre el segundo y tercer soportes.

El control adecuado del cuarto soporte permite que el espesor de la pieza de trabajo varíe durante el proceso de conformación.

El cuarto soporte comprende normalmente un cuarto rodillo de soporte, de modo similar como se ha indicado con respecto al segundo y tercer soportes y es, de modo similar, preferiblemente controlable de forma independiente.

El aparato también puede usarse para llevar a cabo procesos de conformación de tubos, estableciendo el ángulo α a 0° .

En una algunas realizaciones preferentes, el primer y segundo soportes se apoyan contra la superficie interna de la pieza de trabajo. A este respecto pueden considerarse como primer y segundo soportes internos. La herramienta conformadora, por lo tanto, se apoya preferentemente contra la superficie externa de la pieza de trabajo. Cuando el aparato incluye tercer y/o cuarto soportes, preferentemente estos también se apoyan contra la superficie interna de la pieza de trabajo. De este modo, tal como se ha tratad anteriormente, estas realizaciones preferidas pueden proporcionar procedimientos de conformación más flexibles para la fabricación de formas de artículos requeridas.

Los presentes inventores se han dado cuenta de que es posible aplicar la herramienta conformadora a la superficie interna de la pieza de trabajo. En este caso, se prefiere que el segundo soporte se apoye contra la superficie externa de la pieza de trabajo. A este respecto, el segundo soporte puede considerarse como un segundo soporte externo. El primer soporte puede apoyarse contra la superficie interna de la pieza de trabajo, dependiendo de la configuración requerida. Cuando el aparato incluye tercer y/o cuarto soportes, preferentemente estos también se apoyan contra la superficie externa de la pieza de trabajo. Esto resulta de interés en la fabricación de formas más complejas, o en la fabricación de artículos relativamente más planos a partir de una pieza de trabajo relativamente más cóncava, por ejemplo, la fabricación de artículos similares a láminas a partir de pieza de trabajo similares a copas.

Para proporcionar un control preciso de la forma de la pieza de trabajo durante los procesos, algunas realizaciones preferidas de la invención utilizan al menos un sensor adaptado para detectar la forma de la pieza de trabajo durante el proceso. Puede proporcionarse un sistema de control para proporcionar control de retroalimentación para comprar la geometría de la pieza de trabajo medida con la geometría de la pieza de trabajo requerida (o calculada). Por tanto, se proporcionan medios para comparar una diferencia entre la forma de la pieza de trabajo objeto y la forma de la pieza de trabajo real. Cuando se detecta una diferencia significativa, el aparato se controla para reducir esta diferencia. Un control adecuado puede ser el control de la posición de la herramienta conformadora y/o soportes, velocidad de rotación de la pieza de trabajo, etc.

Los inventores consideran que este tipo de control no queda necesariamente limitado a procesos de conformación por rotación.

- Por consiguiente, en un aspecto adicional de la invención, se proporciona un proceso de conformación de láminas de metal en el cual una pieza de trabajo de lámina de metal se deforma a partir de una configuración inicial hacia una configuración final usando un aparato de conformación de láminas de metal, en el que el aparato de conformación de láminas de metal incluye al menos un sensor, incluyendo el proceso detectar la forma de la pieza de trabajo usando el sensor durante la deformación a partir de la configuración inicial hacia la configuración final, comparar la forma detectada de la pieza de trabajo con una forma requerida (o calculada) de la pieza de trabajo y controlar el aparato para disminuir la diferencia entre la forma detectada de la pieza de trabajo con una forma requerida (o calculada) de la pieza de trabajo.
- En un aspecto adicional de la invención, se proporciona un aparato de conformación de láminas de metal para deformar una pieza de trabajo de lámina de metal a partir de una configuración inicial hacia una configuración final, teniendo el aparato:
- al menos un sensor adaptado para detectar la forma de la pieza de trabajo usando el sensor durante la deformación a partir de la configuración inicial hacia la configuración final; y
 - un sistema de control adaptado para comparar la forma detectada de la pieza de trabajo con una forma requerida (o calculada) de la pieza de trabajo y para controlar el aparato para disminuir la diferencia entre la forma detectada de la pieza de trabajo con una forma requerida (o calculada) de la pieza de trabajo.
- A continuación se describen características preferentes adicionales de la invención.

Breve descripción de los dibujos

Se describen a continuación realizaciones preferidas de la presente invención, con referencia a los siguientes dibujos:

- La Fig. 1 ilustra un proceso de conformación por rotación convencional conocido.
- La Fig. 2 muestra las formas axialmente simétricas típicas que pueden formarse usando el proceso de la Fig. 1.
- La Fig. 3 ilustra un proceso de conformación por estirado conocido.
- La Fig. 4 muestra las formas axialmente simétricas típicas que pueden formarse usando el proceso de la Fig. 3.
- La Fig. 5 muestra una vista seccional esquemática (paralela al eje de rotación) de un proceso de conformación por rotación y un aparato de acuerdo con una realización de la invención.
- La Fig. 6 muestra una vista de extremo esquemática (perpendicular al eje de rotación) del proceso de conformación por rotación y aparato de la Fig. 5.
- La Fig. 7 ilustra los resultados de un modelo de elementos finitos de un proceso de conformación por rotación.
- La Fig. 8 muestra algunas tres formas dimensionales y perfiles de pared que pueden formarse usando las realizaciones de la invención.
- Las Fig. 9 y 10 muestran vistas que se corresponden con las Fig. 5 y 6, que incorporan el brazo de la roldana de mezcla (primer rodillo de soporte interno) y el brazo de la roldana de soporte (segundo y tercer rodillos de soporte internos).
- La Fig. 11 muestra una vista isométrica esquemática de un aparato montado de acuerdo con una realización preferida de la invención.
- La Fig. 12 muestra una vista en plano del aparato de la Fig. 11.
- La Fig. 13 muestra una vista de un módulo de un rodillo de conformación para su uso en el aparato de la Fig. 11.
- La Fig. 14 muestra una vista de un módulo de un rodillo de mezcla (primer rodillo de soporte interno) para su uso en el aparato de la Fig. 11.
- La Fig. 15 muestra una vista de un módulo de un rodillo de soporte (segundo y tercer rodillo de soporte interno) para su uso en el aparato de la Fig. 11.
- La Fig. 16 muestra una vista seccional esquemática (paralela al eje de rotación) de un proceso de conformación por rotación y un aparato de acuerdo con otra realización de la invención.
- La Fig. 17 muestra una vista de extremo esquemática (perpendicular al eje de rotación) del proceso de conformación por rotación y aparato de la Fig. 16.
- Las Fig. 18 y 19 muestra una realización modificada basándose en las Fig. 16 y 17 respectivamente.
- Las Fig. 20 y 21 muestra una realización modificada basándose en las Fig. 5 y 6 respectivamente.
- Las Fig. 22 y 23 muestra una realización modificada basándose en las Fig. 18 y 19 respectivamente.

Descripción detallada de las realizaciones preferidas, características opcionales adicionales de la invención

- Las realizaciones preferidas de la invención proporcionan un proceso de conformación por rotación modificado. En esta divulgación, el término "conformación por rotación" se usa indistintamente con "repujado" aunque se reconoce que las realizaciones preferidas pueden trabajar con materiales de partida distintos al metal, por ejemplo, materiales plásticos dúctiles. Sin embargo, en las realizaciones más preferidas de la invención, el material de partida es un material metálico, normalmente una lámina de metal.
- En las realizaciones preferidas de la invención, se proporciona un proceso de conformación por rotación flexible, en el cual el papel del mandril se proporciona mediante una disposición adecuada de los rodillos de soporte internos.

Esto permite, cuando se desee, la fabricación de componentes no axialmente simétricos.

Con referencia a la Fig. 7, el modelo de elementos finitos de un proceso de conformación por rotación de una pieza de trabajo 50 usando un rodillo conformador 52 revela que la pieza de trabajo 50 entra en contacto con el mandril solo en 3 ubicaciones, para cada posición del rodillo 52 con respecto a la pieza de trabajo 15. Estas son: la primera
 5 ubicación 54 ubicada de forma proximal a la posición de montaje giratoria de la pieza de trabajo y axialmente alineada con el rodillo 52; y segunda 56 y tercera 58 ubicaciones, cada una separada de forma distal de la primera ubicación y desplazada lateralmente de la primera ubicación y la posición del rodillo 52.

De acuerdo con una realización preferida de la invención, el mandril puede, por lo tanto, reemplazarse usando una
 10 disposición correspondiente de soportes internos, dejando que la pieza de trabajo gire con respecto a los soportes internos.

La Fig. 5 muestra una vista seccional esquemática (paralela al eje de rotación) de un proceso de conformación por rotación y un aparato de acuerdo con una realización preferida de la invención. La Fig. 6 muestra una vista de
 15 extremo esquemática de esta realización. En estos dibujos, la pieza de trabajo inicial 30 está formada de una lámina de metal. Durante el proceso, esta pieza de trabajo inicial se deforma gradualmente hacia la forma final deseada del artículo 33. La pieza de trabajo 30 se sostiene de forma giratoria mediante un empalme 32 para su rotación sobre un eje de rotación A. El rodillo conformador 36 se sostiene giratoriamente mediante un brazo de la roldana conformador 38 y se apoya contra la superficie externa 40 de la pieza de trabajo.

Una disposición de los rodillos de soporte internos se apoya contra la superficie interna 42 de la pieza de trabajo. El
 20 primer rodillo de soporte interno 44 (también denominado en el presente documento como rodillo de mezcla) se proporciona de forma proximal al extremo del contrapunto del artículo 33. Los segundos 46 (y terceros 48 - véase Fig. 6) rodillos de soporte internos se proporcionan distancialmente del primer rodillo de soporte interno 44 y lateralmente desplazados del primer rodillo de soporte interno 44. El rodillo conformador 36 está separado distancialmente del primer, segundo y tercer rodillos de soporte internos pero no está lateralmente desplazado del
 25 primer rodillo de soporte interno 44.

La configuración ilustrada en las Fig. 5 y 6 tienes dos ventajas principales en relación a un proceso de repujado
 30 convencional. En primer lugar, la configuración es flexible ya que no existe la necesidad de un mandril específico para cada forma deseada del artículo acabado. En segundo lugar, cuando es posible controlar el movimiento de los rodillos radialmente (y, opcionalmente, lateralmente), además de permitir el movimiento paralelo al eje de rotación, significa que la producción de artículos no axialmente simétricos es posible.

La Fig. 8 muestras ejemplos de formas tridimensionales de distinta complejidad que son posible usando la
 35 realización preferida de la invención. Puede formarse una copa circular usando la presente invención pero también usando conformación por rotación convencional. Sin embargo, no se pueden formar una copa elíptica y una copa rectangular mediante conformación por rotación convencional. Por otro lado, una copa con forma de judía es una forma altamente compleja, que tiene una sección transversal que incluye un reentrante. Esta forma también es
 40 posible usando realizaciones preferidas de la invención.

La Fig. 8 también muestra perfiles de pared que pueden formarse usando las realizaciones de la invención. El perfil
 45 lineal puede formarse usando conformación por rotación convencional. El perfil escalonado lineal también puede formarse mediante conformación por rotación convencional, como puede el segundo orden de perfil. Sin embargo, naturalmente, deben generarse formas de mandril específicas para tales procesos. Es más difícil formar el perfil reentrante mostrado en la Fig. 8 usando conformación por rotación, ya que un mandril conformado adecuadamente sería complicado de retirar del producto acabado. Tales formas pueden formarse de un modo directo usando las realizaciones preferidas de la presente invención, puesto que los soportes internos proporcionan el soporte similar al mandril requerido, pero el control de su posición permite que se formen estas formas complejas.

Las Fig. 9 y 10 muestran vistas que se corresponden con las Fig. 5 y 6, pero muestran el brazo de la roldana de
 50 mezcla 60 y brazos de la roldana de soporte 62, 64. Las flechas lineales en la Fig. 10 indican que el brazo de la roldana de mezcla 60 y brazos de la roldana de soporte 62, 64 pueden controlarse para moverse en paralelo al eje de rotación A. Además de esto, en realizaciones preferidas, el brazo de la roldana de mezcla 60 y los brazos de la roldana de soporte 62, 64 pueden moverse radialmente, para proporcionar un control correspondiente de la posición de los rodillos de soporte interno. Por otro lado, en realizaciones aún más preferidas, el bazo de la roldana de mezcla 60 y los brazos de la roldana de soporte 62, 64 pueden moverse adicionalmente de forma lateral (es decir, en una dirección perpendicular al eje de rotación A y de forma perpendicular a la dirección radical, para proporcionar un posicionamiento preciso de los rodillos de soporte internos en las ubicaciones requeridas para un soporte
 55 adecuado de la superficie interna de la pieza de trabajo. La referencia en el presente documento a la dirección "lateral" abarca el control de los brazos de la roldana de soporte 62, 64 para ajustar el ángulo de rotación entre los brazos de la roldana de soporte 62, 64, por lo tanto, "desplazamiento lateral" tiene el mismo significado en el presente documento que "desplazamiento circunferencial".

El control de la velocidad de rotación de la pieza de trabajo, la posición del rodillo conformador 36 y las posiciones
 60 de los rodillos de soporte internos 44, 46 y 48 se proporciona normalmente mediante control numérico

computarizado (CNC), de un modo que se entenderá por el experto en la técnica.

Las Fig. 11 - 15 muestran vistas de un aparato completo de acuerdo con una realización de la invención.

La Fig. 11 muestra una vista isométrica esquemática de un aparato montado 80 de acuerdo con una realización de la invención. El aparato se soporta sobre una placa de base 82 que a su vez se soporta sobre una estructura de soporte 84. La Fig. 12 muestra una vista de planta del aparato 80. La pieza de trabajo 94 se soporta giratoriamente mediante un huso 92. Tres módulos identificables interactúan con la pieza de trabajo 94. Estos son el módulo de rodillo de mezcla 86, el módulo de rodillo de soporte 88 y el módulo de rodillo conformador 90. Estos se describen con más detalle en referencia a las Fig. 13 - 15.

La Fig. 13 muestra el módulo de rodillo conformador 90. El rodillo conformador 92 se soporta giratoriamente mediante el brazo de la roldana conformador 94. El brazo de la roldana conformador 94 se muestra unido a la placa del brazo de la roldana conformador 96. La placa del brazo de la roldana conformador 96 se muestra retirado de los medios de posicionamiento radiales 98, sin embargo, en su uso, la placa del brazo de la roldana conformador 96 está unido a medios de posicionamiento radiales 98. La posición radial del rodillo conformador 92 puede ajustarse mediante el control adecuado del motor radial 100 en combinación con el husillo radial y la guía lineal radial 104 los medios de posicionamiento radiales 98 a su vez soportados sobre medios de posicionamiento axiales 106, la posición axial del rodillo conformador 92 es, por lo tanto, controlada por el control adecuado del motor axial 108, el husillo axial 110 y la guía lineal axial 112. La Fig. 14 muestra el módulo de rodillo de mezcla 86. En esta realización, El movimiento radial del rodillo de mezcla 114 se motoriza pero el movimiento axial del rodillo de mezcla 114 se controla manualmente. En realizaciones preferentes adicionales, el movimiento axial del rodillo de mezcla puede estar bajo control motorizado, implementado de un modo que se entenderá por el experto en la técnica.

En la Fig. 14, el rodillo de mezcla 114 se sostiene sobre el brazo de la roldana de mezcla 116, el movimiento del rodillo de mezcla 114 se controla mediante el control adecuado de un motor radial 118 en combinación con la guía lineal radial 120 y el husillo radial 122. La guía lineal axial 124 proporciona control sobre la posición axial del rodillo de mezcla 114. La Fig. 15 muestra el módulo del rodillo de soporte 88, segundo y tercer rodillos de soporte internos 126, 128 que están montados giratoriamente con respecto a los brazos de la roldana de soporte internos respectivos 130, 132. La posición radial del segundo y tercer rodillos de soporte internos 126, 128 se proporciona independientemente mediante motores radiales 134, 136 el husillo radial 138 y la guía lineal radial 140 se muestran solo con respecto al motor radial 136. La posición axial del segundo y tercer rodillos de soporte internos 126, 128 se proporciona en esta realización mediante un único motor axial 142 y el correspondiente husillo axial 144 y guía lineal 146. En realizaciones alternativas, la posición lineal del segundo y tercer rodillos de soporte internos 126, 128 puede proporcionarse independientemente, proporcionando motores axiales correspondientes, husillos y guías lineales como resultará evidente para un experto en la materia.

Usando un control apropiado de las posiciones de diversos rodillos en el aparato de las Fig. 11 - 15, la pieza de trabajo 94 puede someterse a conformación por rotación, el rodillo conformador 92 apoyándose contra la superficie externa de la pieza de trabajo y el rodillo de mezcla 114 y el segundo y tercer rodillos de soportes internos 126, 128 apoyándose contra la superficie interna de la pieza de trabajo, en lugar de un mandril. Por consiguiente, la forma del artículo conformado puede variarse entre las distintas tiradas del aparato, sin la necesidad de distintos mandriles, requiriendo únicamente un control numérico adecuado de la posición de los rodillos. Por otro lado, pueden fabricarse artículos no axialmente simétricos tal como se ha comentado anteriormente.

Los presente inventores también se han dado cuenta que las realizaciones de la presente invención pueden usarse para llevar a cabo procesos de conformación por estirado y/o de tubos. La Fig. 3 ilustra un proceso de conformación por estirado convencional. Existen tres diferencias principales del proceso de conformación por rotación convencional: hay un cambio en el espesor dictado por el ángulo de pared (α); la conformación por estirado se lleva a cabo en un único pase, siguiendo el rodillo el perfil del mandril; y el rodillo de conformación por estirado (herramienta conformadora) tiene un radio agua en su punta.

Por tanto, en realizaciones adicionales de la invención, se proporciona un proceso de conformación por estirado, en el cual se reemplaza un mandril por rodillos. Existen diferentes opciones para esto. En una realización, ilustrada en las Fig. 16 y 17, la pieza de trabajo 230 se soporta en la superficie interna mediante un primer rodillo de soporte interno 244 ubicado cerca del mandril 232, y segundos 246 y terceros 248 rodillos de soporte internos ubicados distancialmente del primer rodillo de soporte interno 244. Los segundos 246 y terceros 248 rodillos de soporte internos están desplazados lateralmente entre sí. El principal rodillo conformador 236 se soporta mediante el brazo de la roldana 238. El principal rodillo conformador es un rodillo de conformación por estirado - con un radio de "nariz" agudo en el extremo. Durante el proceso, el segundo y tercer rodillos de soporte se mueven junto con el principal rodillo conformador, ambos radial y axialmente, con un desplazamiento radial del principal rodillo conformador igual al espesor final de la pieza de trabajo. Es posible para la trayectoria que sea un único pase, pero no es necesariamente esencial. En otras realizaciones, el espesor de la pieza de trabajo puede reducirse en etapas, para reducir las fuerzas del brazo de la roldana.

Los inventores consideran que en las realizaciones de conformación por estirado de la presente invención, es importante el control cuidadoso de la trayectoria. La trayectoria de la conformación por estirado es más "agresiva"

que en realizaciones de repujado convencionales y consiste principalmente en líneas rectas.

Las Fig. 18 y 19 ilustran otra realización de la invención, la cual es una modificación de la realización ilustrada en las Fig. 16 y 17. Por lo tanto, las características similares no se describen de nuevo aquí y las referencias numéricas similares se usan para características similares. En esta realización, se añade un cuerpo rodillo de soporte interno 250. Este se posiciona directamente por debajo del principal rodillo conformador, para proporcionar un mejor control sobre el espesor final de la pieza de trabajo. Por lo tanto, el cuarto rodillo de soporte interno 250 se ubica distancialmente del primer rodillo de soporte interno 244, pero está axialmente alineado con este y tiene los segundo y tercer rodillos de soportes internos 246, 248 desplazados axialmente sobre cada lado de este. Cabe señalar que esta configuración ejerce elevadas fuerzas sobre los brazos de la roldana, por lo que se necesita normalmente una máquina relativamente rígida.

Cabe señalar aquí que un aparato que tiene cuatro rodillos de soporte internos, del modo indicado en las Fig. 18 y 19 puede hacerse funcionar en un "modo" de conformación por rotación convencional o conformación por estirado, normalmente mediante control del funcionamiento del cuarto rodillo de soporte interno para controlar el espesor de la pieza de trabajo. En algunas realizaciones, el cuarto rodillo de soporte interno podría conectarse y desconectarse su uso durante un único proceso para la fabricación de un componente. Esto permite el control para conseguir una variación en el espesor de la pieza de trabajo final.

En una realización adicional, es posible usar el aparato con cuatro rodillos de soporte internos para llevar a cabo la conformación de tubos, con un ángulo establecido a $\alpha=0^\circ$. Cabe señalar de nuevo que esta configuración ejerce elevadas fuerzas sobre los brazos de la roldana, por lo que se necesita normalmente una máquina relativamente rígida.

Los presentes inventores también se han dado cuenta de que la presente invención puede usarse con la herramienta conformadora apoyándose contra la superficie interna de la pieza de trabajo. En una realización basada en la conformación por rotación convencional, esta se ilustra en las Fig. 20 y 21, que muestra la conformación por rotación de una pieza de trabajo con forma de copa en una placa plana usando una herramienta conformadora interna, un soporte interno y un soporte externo.

Puede establecerse un enfoque similar con respecto a la conformación por estirado. Esta se ilustra en las Fig. 22 y 23, en la cual se usa una herramienta de conformación por estirado interna, con un primer rodillo de soporte interno y un segundo, tercer y cuarto rodillos de soporte externos.

El enfoque que se muestra en las Fig. 22 y 23 muestra cómo el proceso basado en la conformación por rotación convencional puede combinarse con el proceso basado en conformación por estirado. En la Fig. 22, la pieza de trabajo se forma en primer lugar en una forma de copa usando el proceso basado en conformación por rotación convencional. A continuación, la pieza de trabajo se somete a conformación por estirado usando una herramienta de conformación interna. Esto permite que el espesor de la pieza de trabajo se reduzca.

Por tanto, la conformación en ambas direcciones puede usarse para fabricar componentes ligeros. Llevar a cabo el repujado combinado (es decir, basado en conformación por rotación convencional y conformación por estirado), es posible para producir componentes con espesor de pared variante en un único componente. El espesor puede optimizarse estructuralmente, permitiendo la producción de componentes estructuralmente optimizados, y ligeros.

A modo de ejemplo, es posible fabricar un cono de 45 grados con espesor variante (a lo largo del eje). Esto se realiza mediante la conformación por rotación de un componente con un ángulo de pared variante para obtener un espesor variante a lo largo de la pared. Después, la conformación por rotación convencional "a la inversa" se lleva a cabo (usando una herramienta conformadora interna y segundo y tercer rodillos de soporte externos) para "enderezar" la pieza de trabajo de nuevo a 45 grados. Puesto que la conformación por rotación convencional preserva el espesor existente, el resultado combinado de este proceso proporcionaría un cono de 45 grados con un espesor variante.

Para proporcionar un control preciso de la forma de la pieza de trabajo durante los procesos, realizaciones preferidas de la invención utilizan al menos un sensor (no se muestra) adaptado para detectar la forma de la pieza de trabajo durante el proceso. Puede proporcionarse un sistema de control para proporcionar control de retroalimentación para comprar la geometría de la pieza de trabajo medida con la geometría de la pieza de trabajo requerida (o calculada). Por tanto, se proporcionan medios para comparar una diferencia entre la forma de la pieza de trabajo objeto y la forma de la pieza de trabajo real. Cuando se detecta una diferencia significativa, el aparato se controla para reducir esta diferencia. Un control adecuado puede ser el control de la posición de la herramienta conformadora y/o soportes, velocidad de rotación de la pieza de trabajo, etc.

Las realizaciones preferidas de la invención se han descrito a modo de ejemplo. En la lectura de la presente divulgación, modificaciones a estas realizaciones, realizaciones y modificaciones de las mismas adicionales serán evidentes para el experto en la técnica y que entren dentro del alcance de la presente invención tal como se reivindica.

REIVINDICACIONES

1. Un proceso de conformación por rotación para fabricar un artículo (33) de una forma requerida a partir de una pieza de trabajo (30), teniendo la pieza de trabajo, con referencia a la forma requerida del artículo (33), una superficie externa (40) y una superficie interna (42), en donde se hace girar la pieza de trabajo alrededor de un eje de rotación (A) de la pieza de trabajo con respecto a una herramienta conformadora (36) que se apoya contra una de las superficies externa e interna de la pieza de trabajo para deformar la pieza de trabajo hacia la forma requerida y un primer soporte (44) se apoya contra la superficie opuesta de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora (36), en donde la pieza de trabajo (30) está montada en una región de montaje, estando definida durante la conformación por rotación un extremo proximal de la pieza de trabajo y un extremo distal de la pieza de trabajo, estando el extremo proximal de la pieza de trabajo más cerca que el extremo distal de la pieza de trabajo a la región de montaje de la pieza de trabajo, existiendo una dirección proximal-distal paralela al eje de rotación de la pieza de trabajo, una dirección radial perpendicular al eje de rotación de la pieza de trabajo y una dirección lateral perpendicular a la dirección radial, en donde se proporciona un segundo soporte (46), que se apoya contra la superficie opuesta de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora (36), girando la pieza de trabajo con respecto a los soportes, **caracterizado por que:**
- el primer soporte (44) se dispone de forma proximal al segundo soporte (46), la herramienta conformadora (36) se dispone de forma distal al segundo soporte (46), y el primer (44) y el segundo (46) soportes se pueden posicionar independientemente bajo control de máquina en la dirección proximal-distal y/o en la dirección lateral con respecto a la pieza de trabajo giratoria.
2. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con la reivindicación 1 en el que el espesor de la pieza de trabajo (30) permanece sustancialmente sin cambiar cuando se conforma la forma requerida del artículo.
3. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con la reivindicación 1 o la reivindicación 2 en el que el espesor inicial de la pieza de trabajo (30) es t_0 y el espesor final de la pieza de trabajo es t_1 , y se cumple la desigualdad (1), para los valores de α inferiores a 90° :
- $$t_1 > t_0 \sin \alpha \quad \text{desigualdad (1)}$$
- en donde el ángulo α se encuentra entre el eje de rotación A de la pieza de trabajo y la tangente a la superficie interna (42) de la pieza de trabajo, trazándose la tangente en un plano que contiene el eje de rotación A de la pieza de trabajo.
4. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que la forma requerida del artículo (33) es una forma axialmente simétrica.
5. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3 en el que la forma requerida del artículo (33) es una forma no axialmente simétrica.
6. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5 en el que se proporciona un tercer soporte (48) para apoyarse contra la misma superficie de la pieza de trabajo (30) que el segundo soporte (46) y la pieza de trabajo gira con respecto al tercer soporte.
7. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con la reivindicación 6 en el que el segundo soporte se desplaza lateralmente de la herramienta conformadora.
8. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con la reivindicación 7 en el que:
- (i) el tercer soporte (48) está situado distancialmente del primer soporte (44) y lateralmente del segundo soporte (46); y/o
- (ii) el segundo (46) y el tercer (48) soportes están desplazados lateralmente del primer soporte (44).
9. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8 en el que:
- la herramienta conformadora (36) se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación (30) bajo control de la máquina.
10. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9 en el que el primer y el segundo soportes se pueden posicionar independientemente bajo control de máquina en la dirección de máquina con respecto a la pieza de trabajo giratoria.

11. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10 en el que se proporciona un cuarto soporte (250), la pieza de trabajo (30) gira con respecto al cuarto soporte, el cuarto soporte está situado sustancialmente alineado con la herramienta conformadora (36) y estando el cuarto soporte opcionalmente controlado para variar el espesor de la pieza de trabajo durante el proceso de conformación.
- 5 12. Un proceso de conformación por rotación de acuerdo con la reivindicación 11, excepto cualquier reivindicación dependiente de la reivindicación 3, en donde el proceso es un proceso de conformación por estirado o un proceso de conformación de tubos.
- 10 13. Un aparato para fabricar un artículo (33) de una forma requerida partir de una pieza de trabajo (30) mediante conformación por rotación, teniendo la pieza de trabajo, con referencia a la forma requerida del artículo, una superficie externa (40) y una superficie interna (42), teniendo el aparato:
- 15 medios de montaje (32) para el montaje giratorio de la pieza de trabajo en el aparato sobre un eje de rotación (A) de la pieza de trabajo, estando la pieza de trabajo montada en una región de montaje de la pieza de trabajo; una herramienta conformadora (36) para que se apoye contra una de las superficies externa e interna de la pieza de trabajo para deformar la pieza de trabajo; y un primer soporte (44) para que se apoye contra la superficie opuesta de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora (36);
- 20 estando definido durante la conformación por rotación un extremo proximal de la pieza de trabajo y un extremo distal de la pieza de trabajo, estando el extremo proximal de la pieza de trabajo más cerca que el extremo distal de la pieza de trabajo a la región de montaje de la pieza de trabajo, habiendo una dirección proximal-distal paralela a al eje de rotación de la pieza de trabajo, una dirección radial perpendicular al eje de rotación de la pieza de trabajo y una dirección lateral perpendicular a la dirección radial,
- 25 en donde el aparato tiene adicionalmente un segundo soporte (46) para que se apoye contra la superficie opuesta de la pieza de trabajo en relación a la herramienta conformadora (36), en donde el aparato es operativo para permitir que la pieza de trabajo (30) gire con respecto al primer (44) y al segundo (46) soportes, **caracterizado por que:**
- 30 el primer soporte (44) está dispuesto de forma proximal al segundo soporte (46), la herramienta conformadora (36) se dispone de forma distal al segundo soporte (46), y el primer (44) y el segundo (46) soportes se pueden posicionar independientemente bajo control de máquina en la dirección proximal-distal y/o la dirección lateral con respecto a la pieza de trabajo giratoria.
- 35 14. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 13 en el que se proporciona un tercer soporte (48) para que se apoye contra una de las superficies interna (42) y externa (40) de la pieza de trabajo (30), siendo el aparato operativo para permitir que la pieza de trabajo gire con respecto al tercer soporte (48).
- 40 15. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 14 en el que se proporciona un cuarto soporte (250), girando la pieza de trabajo (30) con respecto al cuarto soporte (250) y estando el cuarto soporte (250) situado sustancialmente alineado con la herramienta conformadora (36).
- 45 16. Un aparato de acuerdo con la reivindicación 14 o la reivindicación 15 en el que el segundo soporte (46) está desplazado lateralmente de la herramienta conformadora (36).
17. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 16 en el que la herramienta conformadora (36) se puede posicionar con respecto a la pieza de trabajo en rotación (30) bajo control de la máquina.
- 50 18. Un aparato de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 13 a 17 en el que el primer (44) y el segundo (46) soportes se pueden posicionar independientemente bajo control de máquina en la dirección radial con respecto a la pieza de trabajo giratoria.

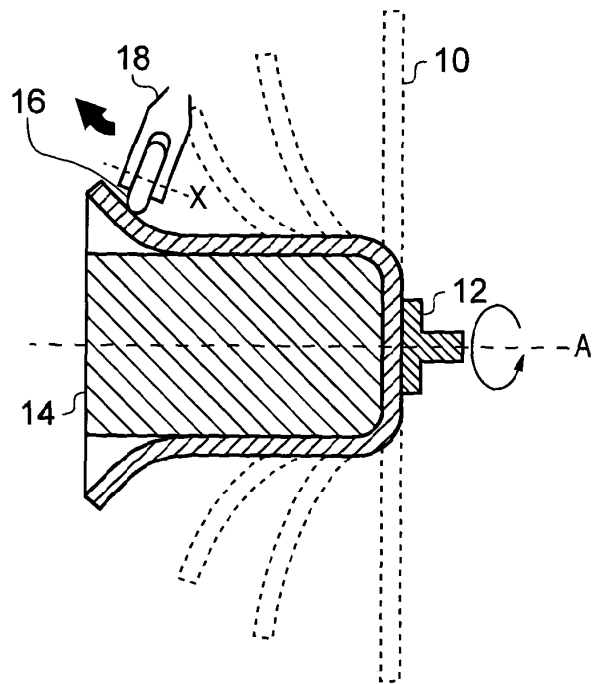


FIG. 1

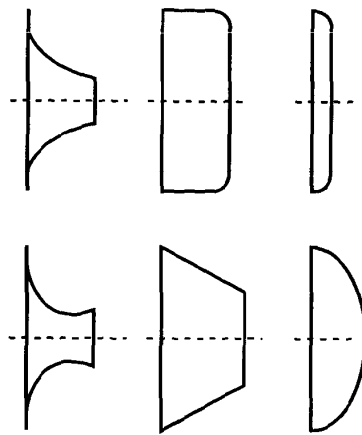


FIG. 2

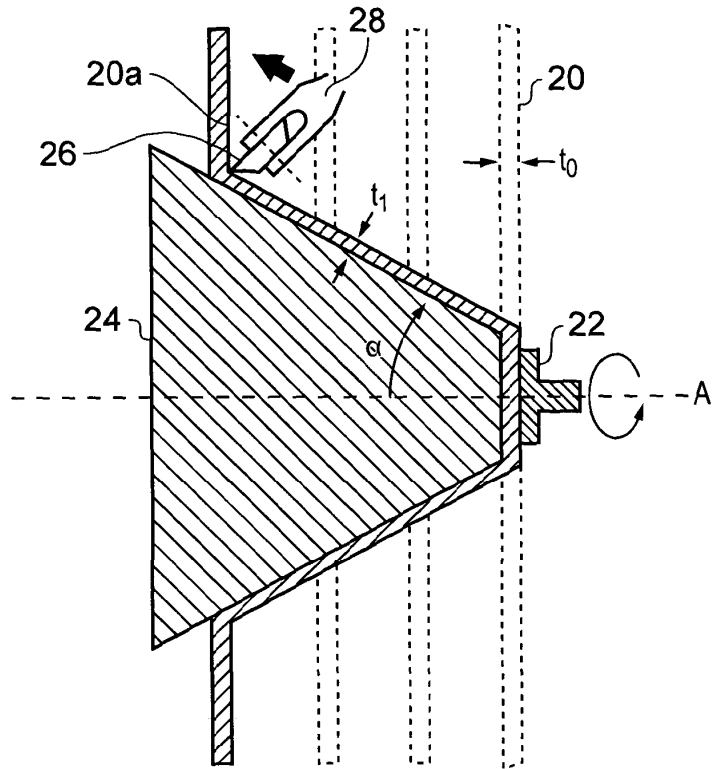


FIG. 3

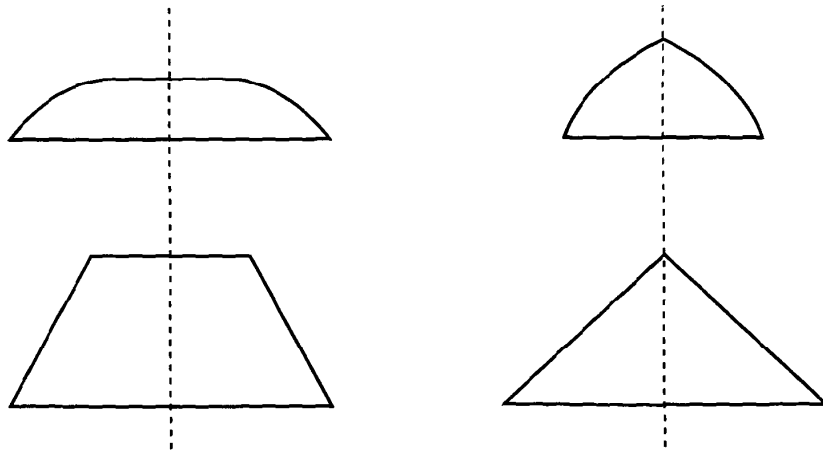


FIG. 4

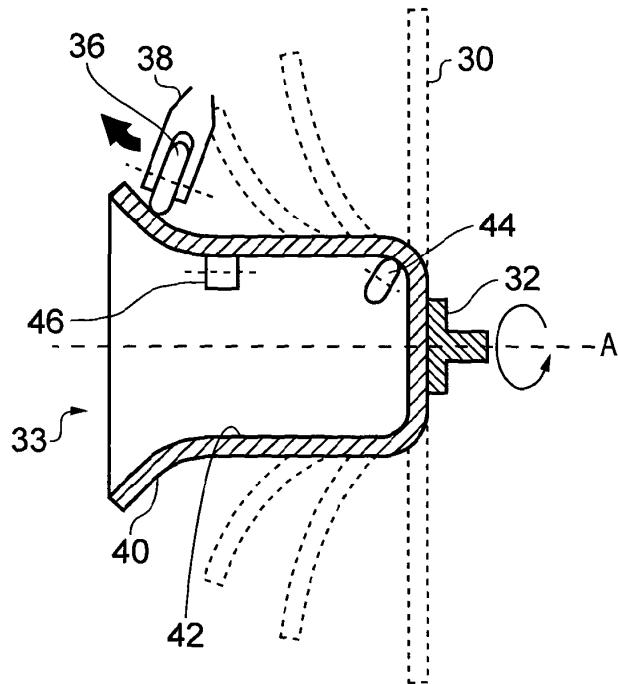


FIG. 5

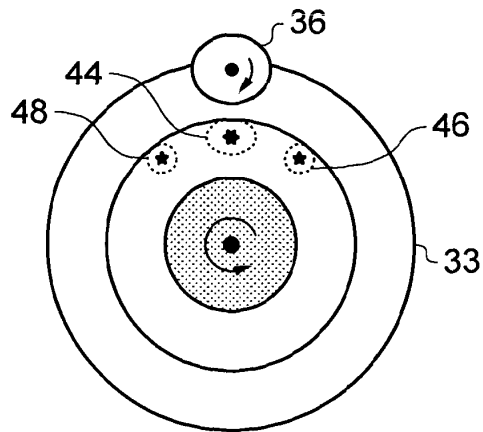


FIG. 6

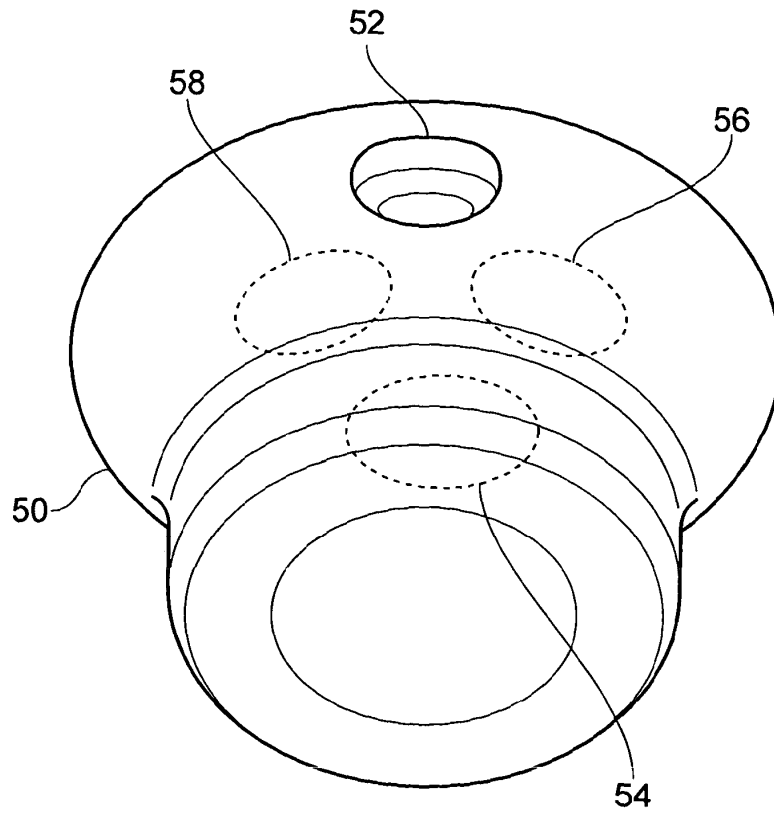


FIG. 7

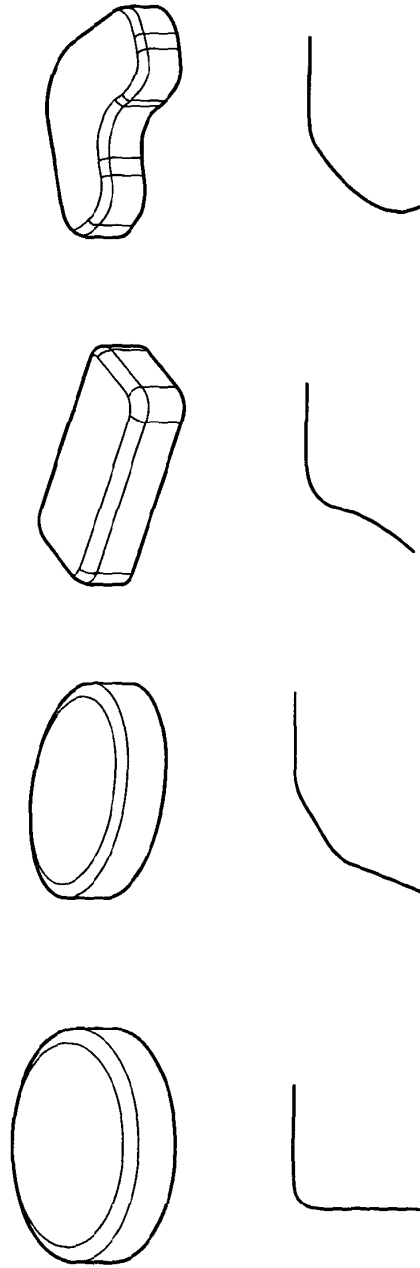


FIG. 8

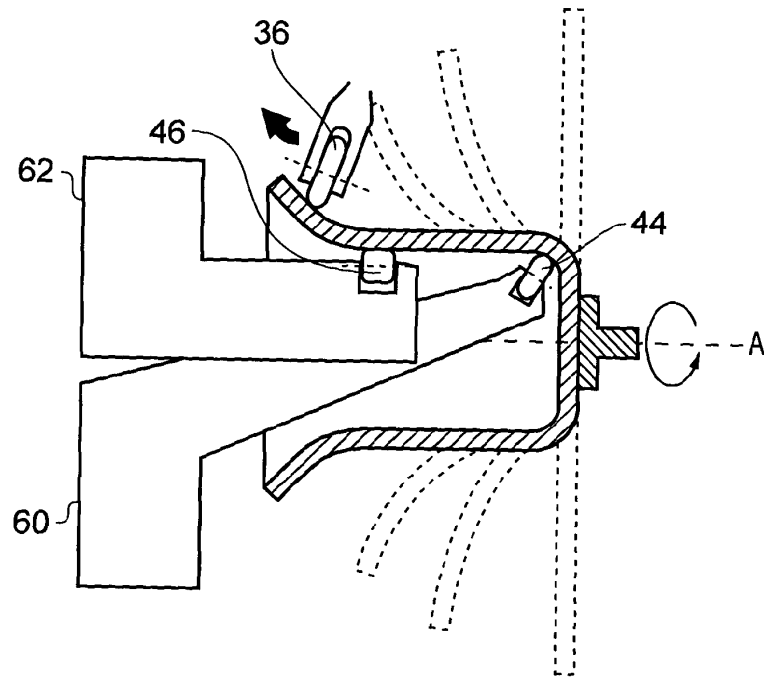


FIG. 9

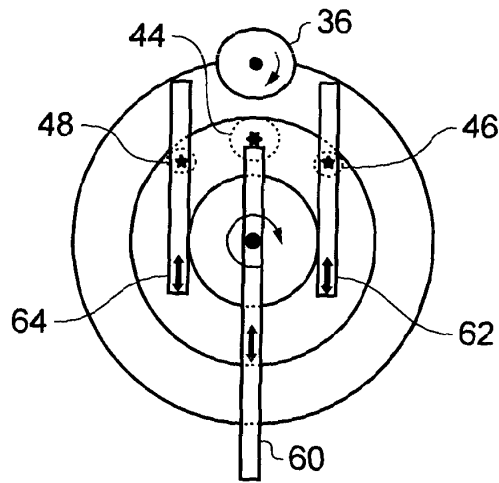


FIG. 10

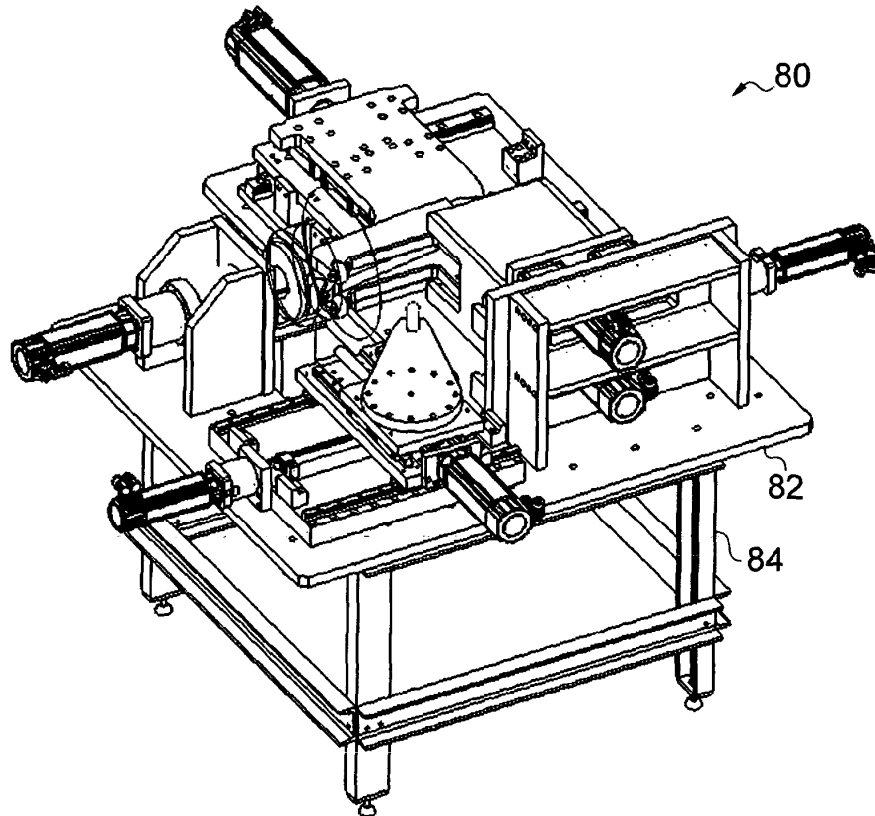


FIG. 11

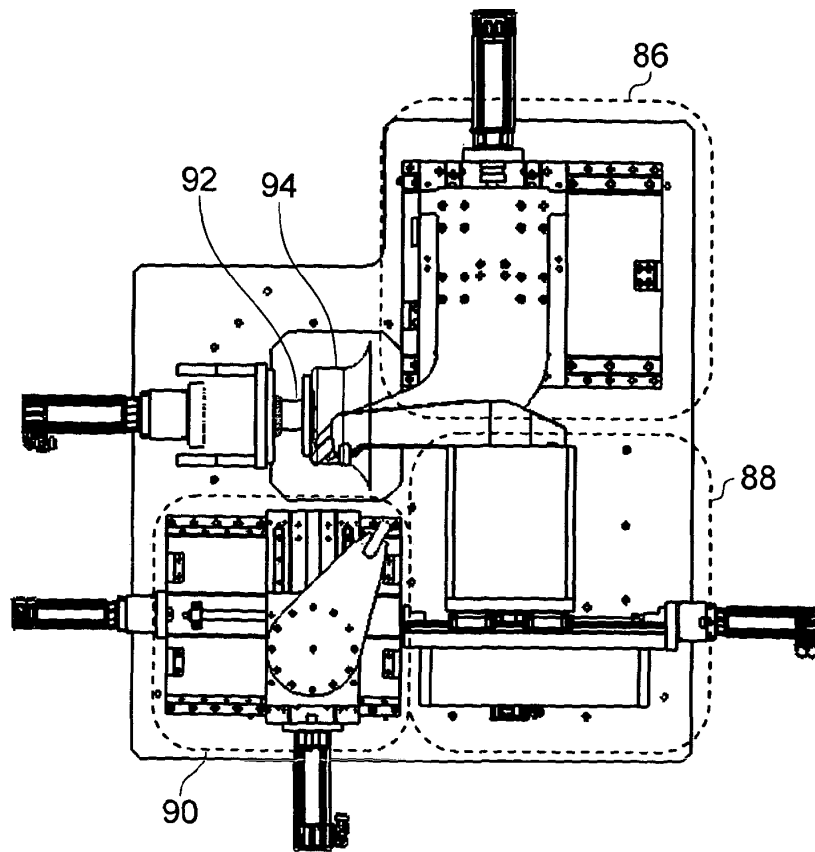


FIG. 12

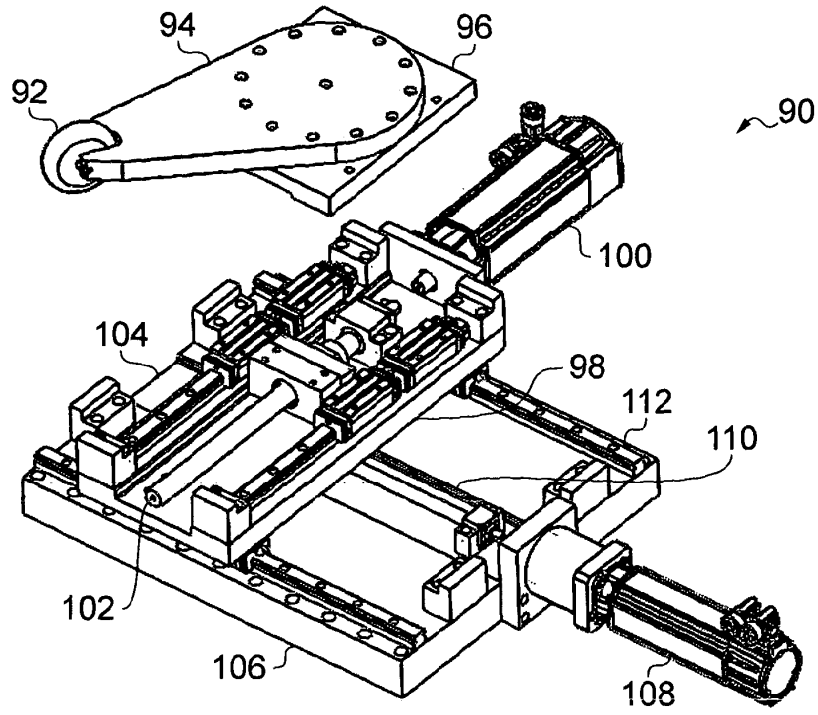


FIG. 13

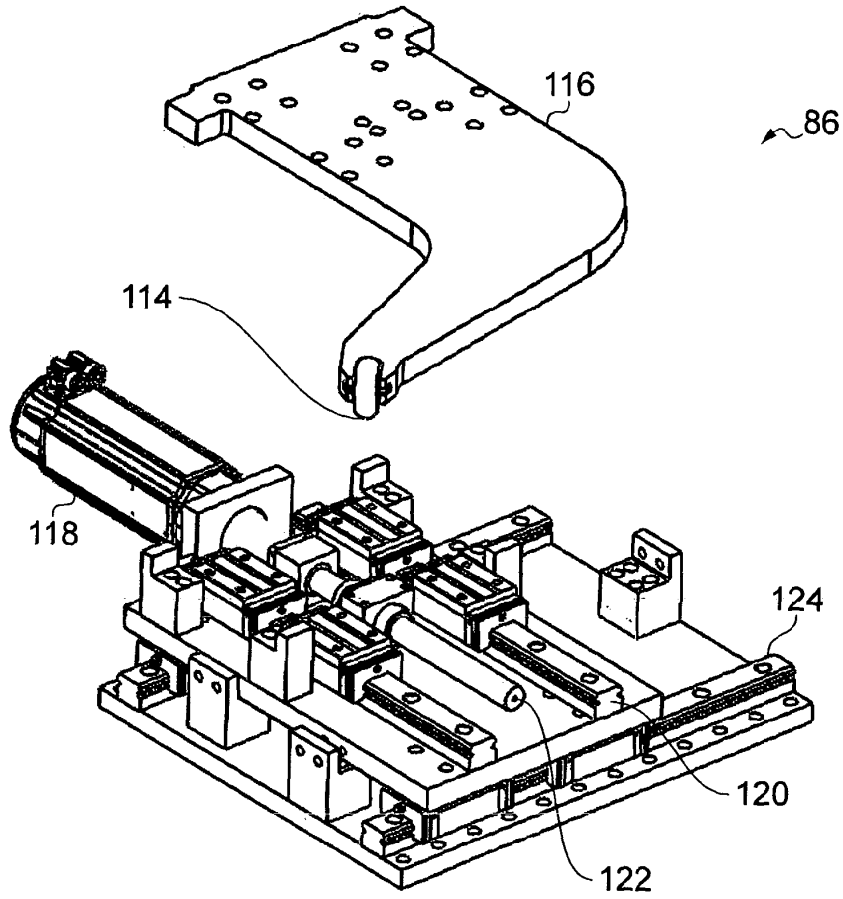


FIG. 14

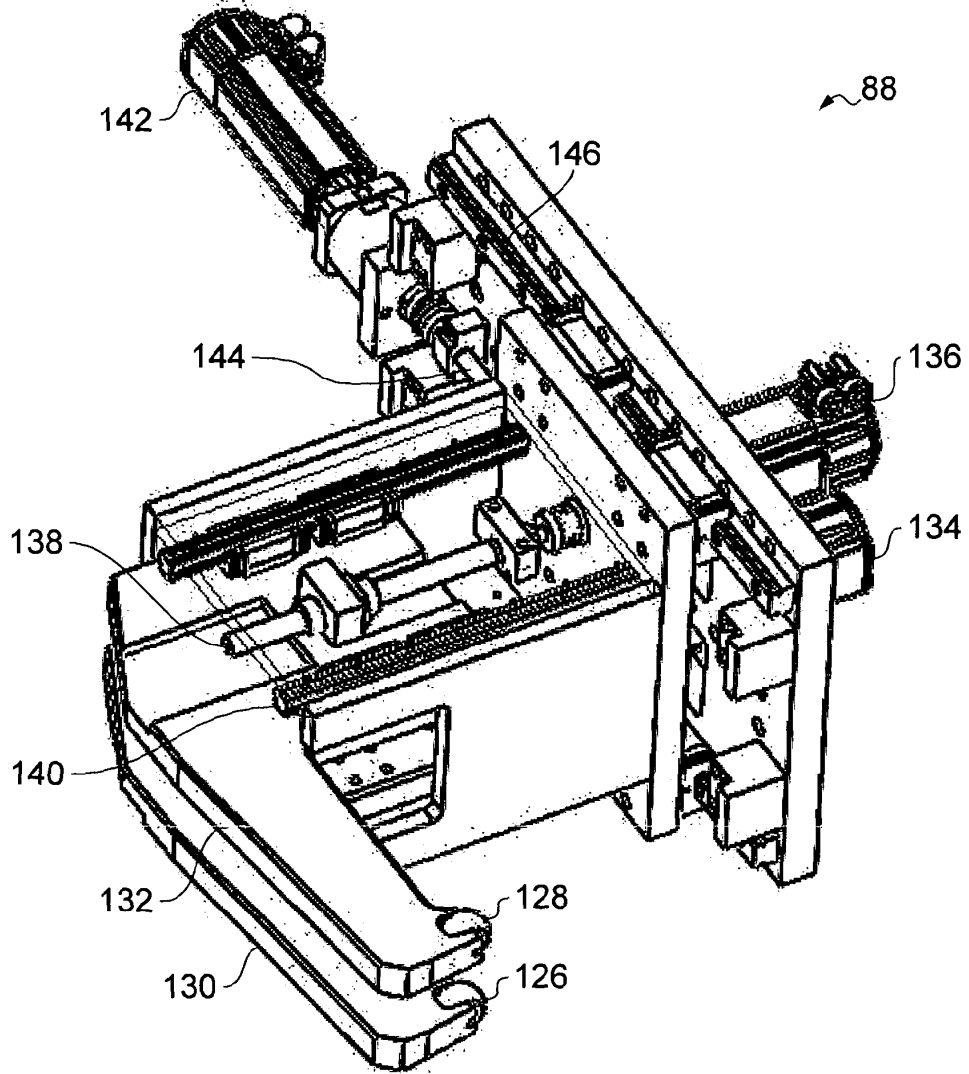


FIG. 15

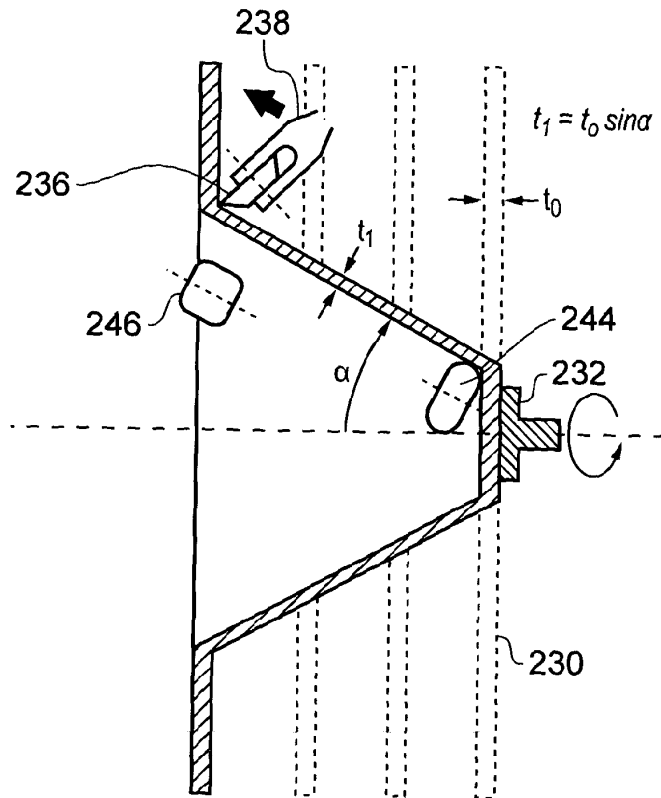


FIG. 16

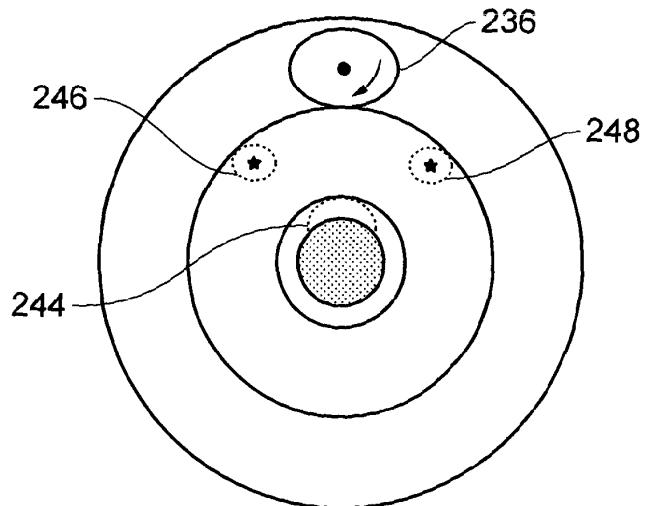


FIG. 17

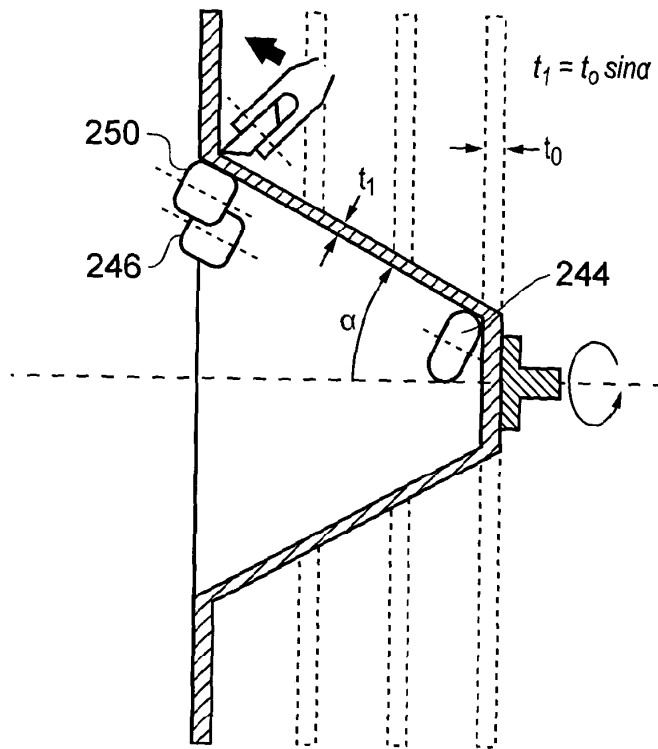


FIG. 18

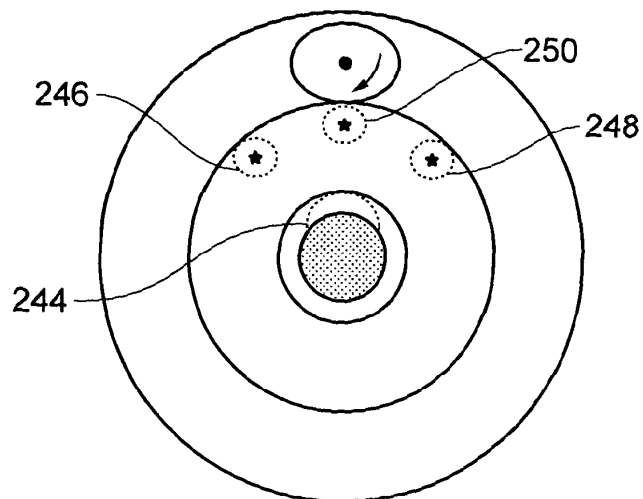


FIG. 19

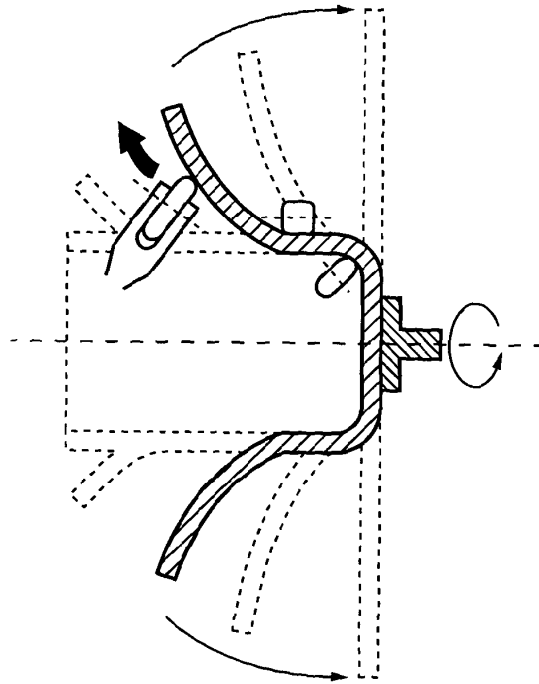


FIG. 20

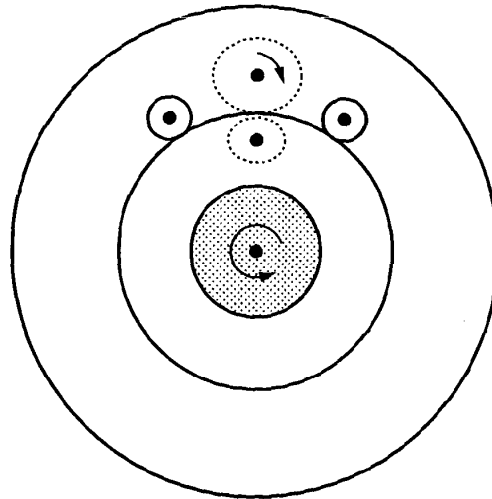


FIG. 21

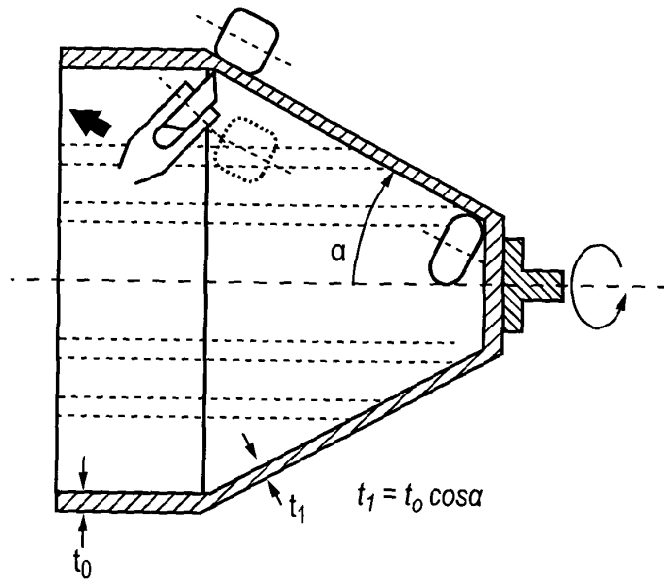


FIG. 22

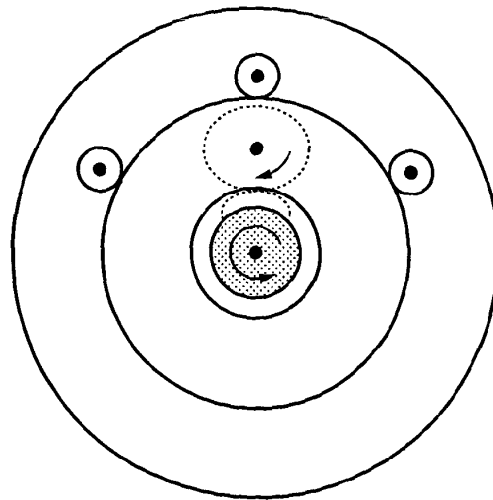


FIG. 23