

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 373 749**

51 Int. Cl.:  
**B21D 24/00** (2006.01)  
**B21D 24/10** (2006.01)  
**B21D 22/26** (2006.01)  
**B21D 24/14** (2006.01)  
**B21D 25/00** (2006.01)  
**B21D 37/02** (2006.01)  
**B21D 25/02** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **07700085 .9**  
96 Fecha de presentación: **23.01.2007**  
97 Número de publicación de la solicitud: **1976651**  
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.10.2008**

54 Título: **CONFORMACIÓN POR ESTIRADO RECONFIGURABLE ACTIVA.**

30 Prioridad:  
**25.01.2006 AU 2006900369**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:  
**08.02.2012**

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:  
**08.02.2012**

73 Titular/es:  
**COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL  
RESEARCH ORGANISATION  
LIMESTONE AVENUE  
CAMPBELL, ACT 2612, AU**

72 Inventor/es:  
**FORSYTH, Ross**

74 Agente: **Sugrañes Moliné, Pedro**

**ES 2 373 749 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

Conformación por estirado reconfigurable activa

5 Campo técnico

10 En un primer aspecto, la invención es una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa, y en otro aspecto la invención es un procedimiento de conformación por estirado. La herramienta y el procedimiento son útiles en la creación de formas tridimensionales en mallas o en chapas metálicas macizas para producir paneles para antenas reflectoras.

Técnica anterior

15 La fabricación de paneles de antena precisos sigue siendo uno de los aspectos más difíciles y laboriosos de la fabricación a gran escala de antenas reflectoras, teniendo además un gran impacto en el rendimiento de las antenas.

20 Se han utilizado diversos procedimientos en la fabricación de paneles de antena. Algunos de estos procedimientos tienen como objetivo una construcción altamente precisa a expensas de la rapidez y los costes, mientras que otros son más adecuados para la fabricación en masa de piezas menos precisas. A continuación se describen algunos de los procedimientos más ampliamente utilizados:

Lecho de pernos

25 Los procedimientos de "lecho de pernos" incluyen colocar tiras de chapas metálicas sobre una disposición de pernos ajustables acoplados a un gran tablero plano. Los pernos están ajustados en altura para representar la curvatura requerida.

30 Tiras de chapas metálicas suficientemente estrechas para adoptar la curvatura requerida solamente con deformación elástica están dispuestas sobre las partes superiores de los pernos y después se presionan mediante moldeo por bolsa de vacío. Mientras que las tiras mantienen la forma mediante un ligero vacío, una estructura rígida de soporte se acopla hacia el lado abierto para sujetar las tiras permanentemente en la forma establecida.

35 Aunque este procedimiento produce paneles altamente precisos de cualquier forma deseada, la presencia de tensiones de deformación elástica en el material requiere una disposición de elementos de soporte muy próximos entre sí para mantener la forma del panel. El vacío utilizado para sujetar el panel puede dar lugar a cavidades poco profundas separadas uniformemente entre los pernos, y se sabe que la separación uniforme de los elementos de soporte provoca ondulaciones periódicas. Estos dos inconvenientes generan problemas en los lóbulos de rejilla de las antenas. El procedimiento del lecho de pernos se describe en mayor detalle en la patente a nombre de CSIRO para fijar rápidamente las alturas de los pernos ajustables [1].

40 Conformación por presión

45 La conformación por presión implica comprimir una lámina de material entre matrices conformadas. El material se deforma plásticamente de manera que conserva permanentemente la forma prensada. Dependiendo de la forma que esté produciéndose, el material puede estirarse o comprimirse plásticamente, o ambos, durante la conformación. Después de suprimir las fuerzas de prensado se produce un cierto grado de retorno elástico o "recuperación", de manera que la forma de las matrices de conformación no es necesariamente la misma que la forma del panel completado.

50 La creación de una forma precisa libre de arrugas y pliegues es compleja y puede requerir un gran número de iteraciones con respecto a la forma y detalles de las matrices de conformación. Las matrices están hechas normalmente de acero endurecido para herramientas, son grandes y caras y cada una solo puede producir una forma. Se necesitan grandes prensas con una capacidad de varios cientos de toneladas para hacer funcionar las matrices. Sin embargo, una vez que las matrices se han probado, la producción de piezas idénticas es muy rápida.

55 Hidroconformación

60 La hidroconformación requiere estirar un panel plano bajo presión hidráulica en una matriz conformada. De este modo, el material conserva la forma de la matriz. Al igual que la conformación por presión, el material recuperará su forma hasta cierto punto después de la conformación. El proceso de hidroconformación para la fabricación de platos de antena se ha comercializado por *Anderson Manufacturing Inc.*, en los Estados Unidos.

Las matrices de hidroconformación son grandes pero simples en comparación con las matrices de conformación por presión, y pueden estar hechas de materiales blandos o estar reforzadas con compuestos de relleno de polímero para simplificar la conformación. No se requieren prensas grandes. Pueden producirse paneles muy grandes pero la matriz, una vez corregida y probada, solo producirá piezas con una forma, y las variaciones de las propiedades del material de la pieza de trabajo pueden afectar a la repetibilidad de la recuperación después de la conformación.

Recientes investigaciones en los Estados Unidos destinadas a desarrollar soluciones de antena para la radioastronomía han dado como resultado la hidroconformación satisfactoria de numerosos platos de 6 metros para el *Allen Telescope Array*, y actualmente están realizándose investigaciones relacionadas con la hidroconformación de reflectores con un diámetro de 12 metros.

#### Conformación por estirado

El término conformación por estirado cubre varias áreas de la conformación de metales, desde la formación de vigas curvadas hasta la formación de paneles para el fuselaje de aeronaves y la carrocería de automóviles. Al igual que la conformación por presión y la hidroconformación, se necesita una matriz conformada o una herramienta de conformación por estirado.

En el caso de conformación por estirado de material laminado, la lámina se agarra fuertemente a lo largo de dos bordes opuestos y se sujeta sobre un bloque de conformación. Después, el bloque de conformación se lleva hacia arriba por debajo de la lámina fuertemente tensada (o los elementos de agarre se mueven hacia abajo), hasta que la forma de la herramienta de conformación se reproduzca en el material, de una manera similar a estirar una lámina de caucho fino sobre, digamos, un balón de fútbol. Esto se ilustra en la Fig. 1. En la Fig. 1(a), una lámina de material se muestra agarrada por encima de un bloque de conformación para su estirado. En la Fig. (1b), los elementos de agarre aplican una carga de estirado y el bloque de conformación se mueve con respecto a la lámina hasta el punto de contacto. En la Fig. 1(c) finaliza la conformación.

La aplicación simultánea de fuerzas de estirado y de conformación reduce significativamente, y puede eliminar casi totalmente, la recuperación de forma del material después de la conformación. En la Fig. 2 se ilustra el mecanismo a través del cual se consigue esto.

En la Fig. 2(a), una pieza de material se ha deformado mediante la aplicación de una carga de flexión. Se generan tensiones de tracción y de compresión en el material a medida que se dobla. Estas tensiones aumentan en magnitud hacia las caras externas del material y hay un eje neutro en el centro en el que no hay ninguna tensión de tracción o de compresión.

Todos los materiales se recuperarán elásticamente hasta cierto punto después de la deformación plástica en una dirección opuesta a la de las tensiones de deformación aplicadas. En este caso, la distribución irregular de las tensiones hará que el material se enderece ligeramente después de que se haya suprimido la carga de flexión, notándose menos de lo previsto la curvatura final.

En la Fig. 2b, el material se ha doblado y estirado a lo largo de su propio eje. Si la carga de estirado es suficiente para provocar una deformación permanente o una ligera deformación plástica en esta dirección, las tensiones dentro del material cambiarán a una distribución uniforme de la tensión de tracción. Después, cuando se suprima la carga de estirado se producirá la recuperación elástica a lo largo de la línea central del material, con un pequeño o sin ningún cambio en la forma global.

Una máquina accionada de manera hidráulica, denominada como máquina formadora por estirado, se utiliza para llevar a cabo este proceso. Consiste en una base o tablero sobre el que está montada la herramienta de conformación por estirado, y en una disposición de elementos de agarre en dos lados que sujetan los bordes de la pieza de trabajo mientras que se estira sobre el bloque de conformación. Los elementos de agarre aplican simultáneamente una carga de estirado suficientemente grande como para hacer que el material de la pieza de trabajo se deforme permanentemente a través de su ancho total. Las máquinas formadoras por estirado son relativamente comunes en la industria.

La conformación por estirado se ha realizado tradicionalmente sobre bloques de conformación macizos hechos de metal, plásticos endurecidos y, ocasionalmente, madera, donde las formas son discretas y la precisión no es crítica.

La conformación por estirado es un proceso bastante rápido, pero la necesidad de herramientas de conformación fabricadas y las limitaciones impuestas por los bloques de conformación con formas fijas han dado lugar al desarrollo de herramientas reconfigurables que consisten en una disposición de elementos ajustables que pueden ajustarse para crear de manera aproximada una superficie curva continua de manera similar al lecho de pernos descrito anteriormente. Un ejemplo de esta herramienta de conformación por estirado y su procedimiento

correspondiente para crear una forma tridimensional se describe en el documento WO 96/17697.

La Fig. 3 muestra una representación de una herramienta de conformación por estirado reconfigurable con una disposición 6 x 6 de elementos ajustables. En la práctica, los elementos son normalmente convexos en sus caras de trabajo en lugar de tener extremos planos tal y como se muestra.

Puesto que la superficie del bloque de conformación reconfigurable está compuesta por facetas individuales en lugar de ser una superficie continua, una capa de material conformable, tal como una lámina de caucho de polímero, está dispuesta sobre la parte superior de la herramienta de conformación para impedir que se abolle la pieza de trabajo. Esta capa se conoce como un interpolador.

Se han publicado varios documentos que detallan el desarrollo y la aplicación de esta técnica en la fabricación de piezas de repuesto para aeronaves, tanto de chapas metálicas como de materiales compuestos. [2], [3], [4].

De estos documentos, el [2] y el [3] analizan aspectos de la acción y el control de los elementos de una herramienta de conformación por estirado reconfigurable, que utiliza 2.688 elementos móviles individuales con un servomotor y un control de tornillos de avance para fijar las posiciones de los elementos ajustables antes de bloquearlos y utilizar la herramienta como una herramienta de conformación fija convencional. Hay varias patentes que cubren aspectos de la construcción y control de este tipo de sistema. [5], [6], [7], [8].

En el documento [4], Walczyk indica que en lo que respecta a los materiales compuestos, pueden utilizarse máquinas automáticas de superposición de capas para preparar piezas compuestas sobre la parte superior de herramientas reconfigurables en estado plano, con la subsiguiente activación de la herramienta reconfigurable desde debajo de la pieza para formar la curvatura requerida.

Estos procedimientos tienen varias desventajas:

En lo que respecta a grandes herramientas con muchos elementos, la tarea de controlar miles de elementos individuales es engorrosa. Cada elemento está sometido a una proporción de la fuerza total aplicada por la máquina de conformación por estirado, de manera que los elementos deben ser robustos o es probable que no sean fiables para la colocación o repetibilidad.

Cuando se utilizan paneles de curvatura no uniforme, la presión efectiva entre el interpolador y el material de la pieza de trabajo puede variar, dando como resultado diferentes grados de compresión del interpolador sobre la parte superior de los elementos de la herramienta de conformación. Esto hace que la forma de la pieza conformada no corresponda a la superficie nominal definida por los elementos de la herramienta.

Por último, puesto que toda la carga de conformación es soportada por la estructura de la herramienta de conformación y sus elementos, cualquier deformación de la estructura de la herramienta bajo carga se reproducirá en la forma de la pieza de trabajo.

#### Resumen de la invención

Un primer aspecto de la invención es una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa para crear una forma tridimensional en una pieza de trabajo de malla o de chapa metálica maciza, para producir un panel para una antena reflectora. La herramienta comprende:

Una disposición de elementos de conformación extensibles que se accionan en extensión para producir la misma fuerza por unidad de superficie a través de una pieza de trabajo durante la conformación.

Y una disposición de interruptores limitadores ubicados delante de la disposición de elementos de conformación, de manera que cada elemento de conformación se acciona en extensión hacia un interruptor limitador respectivo durante la conformación. Donde, durante el uso, cada interruptor limitador se activa por la pieza de trabajo a medida que se le da forma y cada interruptor, tras activarse, impide una extensión adicional del elemento accionado respectivo.

La disposición de interruptores limitadores define la forma que se va a comunicar a la pieza de trabajo. La herramienta reconfigurable activa consigue controlar la forma de la pieza de trabajo midiendo directamente la pieza de trabajo durante la conformación. La herramienta también permite variar la forma producida y facilita la corrección de errores sistemáticos de conformación, tales como la deformación de la estructura de la herramienta o la compresión de un interpolador. Además, la herramienta puede incorporar una realimentación de control de forma o una corrección de errores a medida que se realiza la conformación.

La herramienta puede utilizarse en una máquina industrial convencional de conformación por estirado, sin modificaciones significativas en la configuración o funcionamiento habituales de la máquina. Por ejemplo, pueden utilizarse los conjuntos opuestos convencionales de elementos de agarre de la pieza de trabajo.

5 Los elementos de conformación pueden comprender cilindros y pistones hidráulicos cada uno de los cuales se acciona mediante una única fuente de alimentación hidráulica. Puesto que los elementos accionados de manera hidráulica están conectados a través de líneas hidráulicas a una única fuente de alimentación, la presión hidráulica en los cilindros se igualará. Esto impide que uno cualquiera de los cilindros provoque una deformación excesiva localizada en la pieza de trabajo.

10 Cada pistón puede estar coronado por una pastilla basculante y cada pastilla basculante puede interbloquearse con sus pastillas adyacentes para formar una superficie articulada continua. Como resultado de la utilización de las pastillas basculantes, la disposición de elementos puede estar esparcida en comparación con una herramienta de conformación por estirado reconfigurable convencional. Las pastillas basculantes pueden estar dotadas de un asiento esférico para ajustarse a los extremos esféricos de los pistones de cilindro hidráulicos.

15 Un interpolador puede estar situado sobre la superficie articulada para recibir la pieza de trabajo.

20 Los pistones estarán dispuestos generalmente debajo de la pieza de trabajo para producir piezas de trabajo cóncavas. Una extensión de la invención es colocar un conjunto de pistones encima y debajo de la pieza de trabajo. Esto permitirá una producción de paneles de curvatura cóncava y convexa.

25 Los interruptores limitadores pueden estar alineados verticalmente sobre pastillas basculantes respectivas. Pueden utilizarse otras ubicaciones para los interruptores limitadores, siempre que puedan activarse por el movimiento de la pieza de trabajo, interpolador o pistón a medida que se da forma a la pieza de trabajo. Cada interruptor puede estar conectado a una válvula de solenoide simple en la línea hidráulica que conduce hacia su cilindro respectivo. A medida que se da forma a la pieza de trabajo, ésta hará contacto con uno o más de los interruptores limitadores y, en cuanto esto suceda, el interruptor se activará para cerrar la válvula de solenoide e impedir un movimiento adicional de la pastilla basculante respectiva.

30 Los propios interruptores pueden ser interruptores mecánicos de encendido/apagado. Como alternativa, los interruptores pueden ser dispositivos analógicos de contacto constante y pueden estar programados o configurados para activarse a la altura adecuada. Como resultado, puede ser posible implementar una conformación de múltiples fases, donde un panel se forma en una fase inicial, intermedia-final o de desbastado-acabado. Este enfoque gradual puede ser beneficioso cuando se requieren formas profundas, una gran precisión o ambos, evitando un estirado excesivo o la posibilidad de combado en cualquier fase.

35 Para formar de manera más aproximada una superficie continuamente curvada, las superficies de conformación de las pastillas basculantes pueden estar formadas con un radio esférico aproximadamente idéntico a la curvatura del panel requerido.

40 Puede proporcionarse a la herramienta varios conjuntos de pastillas basculantes con una variedad de radios esféricos. Como alternativa, la parte superior de cada pastilla basculante puede ser plana y estar dotada de piezas de acoplamiento de diferente radio esférico.

45 Si un panel individual tiene áreas de alta y baja curvatura, un conjunto de pastillas con radios apropiados incrementalmente diferentes puede acoplarse a la herramienta de conformación por estirado para permitir tales variaciones.

50 Otro aspecto de la invención es un procedimiento para crear formas tridimensionales en una pieza de trabajo de malla o de chapa metálica maciza para producir un panel para una gran antena reflectora. El procedimiento comprende:

55 Estirar una pieza de trabajo metálica en un estado plano delante de una disposición de elementos de conformación extensibles.

Accionar cada elemento de conformación de la disposición en extensión para producir la misma fuerza por unidad de superficie a través de la pieza de trabajo para crear una forma en la pieza de trabajo.

60 Extender cada elemento de conformación hacia un interruptor limitador respectivo durante la conformación hasta que la pieza de trabajo active el interruptor limitador.

Impedir una extensión adicional de un elemento de conformación tras la activación del interruptor limitador

respectivo.

5 A diferencia de otras implementaciones de herramientas de conformación por estirado reconfigurables, no se requiere un control de posición simultáneo del gran número de elementos accionados. En esta invención, los elementos de conformación se accionan para producir la misma fuerza por unidad de superficie a través de la pieza de trabajo, y la distribución de potencia y las posiciones de los elementos durante el estirado se controlan mediante el comportamiento natural del material de la pieza de trabajo.

10 Los elementos de conformación pueden comprender pistones hidráulicos, y el procedimiento puede producir paneles de cualquier curvatura en el desplazamiento disponible de los pistones hidráulicos.

15 La posición final de los elementos de conformación, y por tanto la forma del panel, aunque está controlada de manera precisa por la disposición de interruptores limitadores, es fácil de obtener y no requiere una intervención activa de un sistema de control. Se prevé que el ajuste de la disposición de interruptores limitadores puede llevarse a cabo según el procedimiento descrito en [1].

20 Pueden permitirse variaciones entre las formas de panel medidas y teóricas en los ajustes de la disposición de interruptores limitadores. Si la disposición de interruptores limitadores también se utiliza para la medición de forma, puede implementarse un proceso automático con un control de forma en bucle cerrado.

Utilizando la invención pueden formarse grandes secciones de panel a partir de una pieza de material, eliminando el tiempo y el esfuerzo requeridos en superponer las numerosas tiras individuales requeridas por el procedimiento del lecho de pernos.

25 La utilización de paneles de una pieza creados de manera rígida con una forma precisa elimina la necesidad de múltiples nervaduras de soporte preformadas para mantener la forma del panel y la necesidad de que las nervaduras estén alineadas con las articulaciones situadas entre las tiras individuales. Esto permitirá que la estructura de soporte se diseñe para que sea rígida y económica sin las limitaciones impuestas por el trazado o curvatura del panel.

30 Este procedimiento utiliza la maquinaria y las técnicas existentes de conformación de metales, piezas estándar y un sistema de control simple.

35 El procedimiento propuesto ofrece mejoras significativas en lo que respecta al coste y la versatilidad manteniendo al mismo tiempo una precisión de superficie equivalente a la de los mejores procedimientos actualmente disponibles.

Breve descripción de los dibujos

40 La técnica anterior se ha descrito anteriormente con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

La Fig. 1 es una serie de diagramas esquemáticos que ilustran la conformación por estirado. En la Fig. 1(a) se muestra una lámina de material agarrada por encima de un bloque de conformación para su estirado. En la Fig. 1(b) se aplica una carga de estirado mediante los elementos de agarre y el bloque de conformación se mueve con respecto a la lámina hasta el punto de contacto. En la Fig. 1(c) finaliza la conformación.

45 La Fig. 2(a) es un diagrama que muestra la distribución de la tensión de tracción y de la tensión de compresión durante el doblado de una pieza de material.

50 La Fig. 2(b) es un diagrama que muestra solamente la distribución de tensiones de tensión durante la conformación por estirado.

La Fig. 3 es un diagrama que muestra una herramienta de conformación por estirado reconfigurable con una disposición 6 x 6 de elementos ajustables.

55 A continuación se describirá un ejemplo de la invención con referencia a los siguientes dibujos, en los que:

60 La Fig. 4 es una serie de diagramas que ilustran el principio de funcionamiento de una herramienta de conformación por estirado activa. La Fig. 4(a) muestra una herramienta de estirado reconfigurable en una máquina de conformación por estirado industrial antes de que comience el estirado. La Fig. 4(b) muestra la herramienta de estirado reconfigurable en un punto de estirado intermedio. La Fig. 4(c) muestra la herramienta cuando ha finalizado el estirado.

La Fig. 5(a) es un diagrama que muestra una pastilla basculante para la herramienta de la Fig. 4. La Fig. 5(b)

es la pastilla de la Fig. 5(a) invertida.

La Fig. 6 es un diagrama que muestra tres pastillas interbloqueadas que forman una superficie articulada.

5 La Fig. 7(a) ilustra un modelo de una disposición de pistones y de pastillas basculantes por debajo de una disposición de topes. La Fig. 7(b) muestra cómo la disposición de pastillas bascula y se orienta para formar la curva definida por los topes cuando hacen contacto entre sí.

Mejores modos de la invención

10 Haciendo referencia a continuación a la Fig. 4(a), una máquina de conformación por estirado reconfigurable 10 requiere una disposición poblada de manera esparcida de elementos 12. Cada elemento 12 comprende un cilindro hidráulico 14, los cuales se activan mediante una única fuente de alimentación hidráulica 16. Un pistón hidráulico 18 puede llevarse hacia arriba mediante cada cilindro 14. La herramienta puede utilizarse en una máquina industrial  
15 habituales de la máquina.

La distancia entre los elementos 12 es mucho mayor que en las herramientas reconfigurables descritas anteriormente, y cada pistón 18 está coronado por una pastilla basculante 20. Cada pastilla basculante 20 se interbloquea con sus pastillas adyacentes para formar una superficie continua articulada indicada de manera genérica como 22. Un interpolador de polímero 24 está colocado entre las pastillas 20 y la pieza de trabajo 26, la cual se sujeta mediante elementos de agarre 28 y 30.

20 En lugar de proporcionar una superficie fija y preestablecida sobre la cual se estira un material laminado o de pieza de trabajo, como en una máquina de conformación por estirado, el material 26 se mantiene estirado en el estado plano mientras que los pistones 18 de la herramienta reconfigurable se llevan hacia arriba, creando de ese modo una forma tridimensional en el panel.

30 Los elementos activados de manera hidráulica 12 no se controlan individualmente. Al estar conectados a través de líneas hidráulicas a una única fuente de alimentación 16, la presión hidráulica en los cilindros se iguala. Esto impide que uno cualquiera de los cilindros provoque una deformación excesiva localizada en la pieza de trabajo 26.

35 Por encima de la pieza de trabajo 26 está suspendida una disposición de interruptores limitadores 32 alineados verticalmente sobre cada elemento activo 12. Cada interruptor 32 está conectado a una válvula de solenoide simple 34 en la línea hidráulica que conduce hacia su cilindro pertinente 14. Los propios interruptores 32 pueden ser interruptores limitadores mecánicos simples de encendido/apagado de los tipos utilizados habitualmente en la maquinaria industrial, donde la conmutación se produce por contacto. Como alternativa, los interruptores pueden ser dispositivos analógicos de contacto constante como transductores lineales de diferencial de voltaje (LVDT), programados o configurados para activarse a la altura apropiada.

40 Si se utiliza un dispositivo programable de este tipo en lugar de un interruptor de encendido/apagado puede implementarse una conformación de múltiples fases, donde un panel se forma en una fase inicial, intermedia-final o de desbastado-acabado. Este enfoque gradual puede ser beneficioso cuando se requieren formas profundas, una gran precisión o ambos, evitando un estirado excesivo o la posibilidad de combado en cualquier fase.

45 A medida que se eleva la pieza de trabajo 26, zonas de la pieza de trabajo harán contacto con algunos de los interruptores limitadores 32, tal y como se muestra en la Fig. 4(b), cerrándose la válvula de solenoide del cilindro en ese punto e impidiendo un movimiento adicional. Cuando todas las válvulas de solenoide se hayan cerrado de esta manera, tal y como se muestra en la Fig. 4(c), el proceso de conformación finaliza.

50 El estirado final de la pieza de trabajo después de que todos los elementos activos hayan hecho contacto con sus interruptores limitadores respectivos igualará las tensiones internas del material de la pieza de trabajo y garantizará que su forma creada se mantenga después de que se supriman todas las fuerzas de conformación y se extraiga la pieza de trabajo de la máquina de conformación por estirado.

55 Las posiciones de la disposición de interruptores limitadores definen la forma de la pieza de trabajo que va a producirse. Se prevé que el ajuste de la disposición de interruptores limitadores puede llevarse a cabo según el procedimiento descrito en [1].

60 Detalles de la herramienta

La disposición de pastillas basculantes 20 utilizada en los extremos de los pistones de cilindro hidráulicos 18 está interbloqueada entre sí. De esta manera se crea una superficie de conformación continua articulada 22. El

interpolador se apoya sobre la superficie relativamente continua 22 y el efecto combinado es impedir que se generen puntos elevados localizados que puedan abollar la pieza de trabajo 26 entre puntos medidos por la disposición de interruptores limitadores.

5 Las pastillas basculantes 20 están dotadas de un asiento esférico 36 en un lado para ajustarse a los extremos esféricos 38 de los pistones de cilindro hidráulicos 18. Puede utilizarse un anillo de seguridad simple de alambre para retener las pastillas en los pistones después de la conformación, cuando los cilindros hidráulicos se retraen hasta su posición de descanso.

10 Para formar de manera más aproximada una superficie continuamente curvada y ayudar al interpolador 24 a producir una curvatura lisa de la pieza de trabajo, las superficies superiores de las pastillas basculantes 20 están formadas con un radio esférico aproximadamente idéntico a la curvatura del panel requerido.

15 Si la variedad de paneles que van a formarse por estirado requiere radios de curvatura muy diferentes, puede instalarse en la herramienta una pluralidad de conjuntos de pastillas basculantes con una variedad de radios esféricos que difieren, por ejemplo, en incrementos de 1 m, según sea necesario.

20 Como alternativa, la parte superior de cada pastilla basculante puede ser plana y estar dotada de piezas de acoplamiento de diferente radio esférico.

Si un panel individual tiene áreas de alta y baja curvatura, un conjunto de pastillas con radios apropiados incrementalmente diferentes puede acoplarse a la herramienta de conformación por estirado para permitir tales variaciones.

25 La Fig. 5 muestra un posible diseño de una pastilla basculante 20 e ilustra las características 38 y 40 que se interbloquean con pastillas adyacentes para formar una superficie articulada y el casquillo para montar la pastilla en el pistón hidráulico. La Fig. 6 ilustra el interbloqueo de una pluralidad de pastillas 20.

30 La Fig. 7(a) ilustra un modelo de una disposición de pistones y de pastillas basculantes 42 debajo de una disposición de topes 44. La Fig. 7(b) muestra cómo la disposición de pastillas 42 bascula y se orienta para formar la curva definida por los topes 44 cuando hacen contacto entre sí.

#### Tensiones creadas en las herramientas reconfigurables

35 En un ejemplo, una antena de 15 m de diámetro con f/d de 0,4 genera una distancia focal de 6 m. Puesto que el radio instantáneo mínimo de una parábola es igual a dos veces la distancia focal, es necesario formar por estirado una sección de una superficie esférica con un radio de 12 m a partir de una lámina de aluminio con un grosor de 1,2 mm. El material considerado es de grado 5005-H34 y tiene una tensión de deformación permanente de 138 MPa [9].

40 Este proceso de conformación por estirado es análogo a la hidroconformación, donde la presión hidráulica se utiliza para deformar una lámina plana. Si se llevan a cabo sin restricciones, ambos procesos tenderán a producir un radio esférico. Puesto que las tensiones de tracción en la pared de un recipiente esférico sometido a una presión hidráulica interna son idénticas en todas las direcciones y las tensiones de tracción son proporcionales a la presión, el tratamiento de la conformación por estirado como un problema de presión hidráulica es suficientemente válido para comprobar la viabilidad del proceso de conformación por estirado propuesto.

45 En este caso, las tensiones de deformación permanente generadas en la pieza de trabajo por los elementos de agarre de conformación por estirado son equivalentes a las tensiones de tracción en las paredes de un recipiente a presión. Por lo tanto, la presión de contacto en cualquiera de las pastillas basculantes es equivalente a la presión interna en un recipiente del mismo radio con la misma tensión de tracción en las paredes.

50 Las tensiones de tracción en un recipiente esférico a presión de paredes delgadas son iguales a:

$$f = Pr/2t$$

55 donde

f = tensión (MPa);  
 P = presión interna (MPa);  
 60 r = radio del recipiente (m) y  
 t = grosor de la pared (m).

Para un recipiente con un radio de 12 m, un grosor de pared de 1,2 mm y una tensión de tracción en las paredes de

138 MPa, la presión interna equivalente es por lo tanto de 0,276 MPa. Esta es la presión de superficie nominal que estará presente en una pastilla basculante para formar por estirado un panel con radio de 12 m.

5 Un modelo de un posible diseño de pastilla basculante sometida a esta carga se estudió utilizando un paquete de análisis lineal de elementos finitos mecánicos, *COSMOSXpress*, y los resultados muestran que la tensión máxima desarrollada en esta parte es de 8,5 MPa aproximadamente. Si la pastilla está hecha de acero dulce con una tensión de deformación permanente de 250 MPa, esto representa un factor de seguridad en el diseño de al menos 29.

10 La carga ejercida sobre la pastilla basculante también será soportada por el cilindro hidráulico. Si se supone un cilindro con un diámetro de pistón de 75 mm, puede hallarse la presión hidráulica requerida.

15 La carga de presión de 0,276 MPa en la parte superior de la pastilla basculante, junto con el área de la cara superior, 0,019 m<sup>2</sup>, indica una carga normal sobre un pistón de 5,25 kN. La presión hidráulica necesaria para producir esta carga sobre un pistón de 75 mm es de 1,19 MPa. Cuando se consideran tolerancias de pérdidas, se requiere una presión de sistema mínima de 2,5 MPa aproximadamente. Los sistemas hidráulicos industriales fabricados a partir de piezas estándar funcionan normalmente a presiones de sistema que oscilan entre 20 MPa y 60 MPa, de modo que los requisitos de presión hidráulica son muy modestos.

20 Otro aspecto considerado fue la tensión de flexión aplicada lateralmente a los pistones de los cilindros hidráulicos por la resistencia a la fricción a medida que la pieza de trabajo y o el interpolador se desliza a través de las partes superiores de las pastillas durante el estirado. Se prevé que el interpolador sea del tipo de caucho de uretano. Estos materiales están disponibles en una amplia gama de compuestos con varios grados de dureza. Los fabricantes de poliuretanos para el recubrimiento de los rodillos de aparatos transportadores señalan que el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) para estos materiales puede adaptarse para adecuarse a la aplicación, siendo  $\mu = 0,4$  el valor mínimo.

25 Para cubrir todas las posibilidades, se supuso un coeficiente de fricción de  $\mu = 1,0$  para el peor escenario, como fue el caso de un pistón de cilindro con un diámetro de 50 mm, en voladizo con una longitud libre de 250 mm.

30 Como antes, se supone una carga axial sobre una pastilla basculante de 5,25 kN. Si  $\mu = 1,0$ , la carga lateral en la punta del pistón también será de 5,25 kN, aplicada simultáneamente con la carga de cilindro axial. El análisis de un modelo que representa un pistón de acero de aleación de un cilindro hidráulico bajo esta carga combinada produce un factor de seguridad de 6 aproximadamente. Aunque el factor de seguridad del pistón es menor que el de la pastilla basculante, este breve análisis demuestra que las tensiones generadas en los componentes principales de una herramienta que implementa este concepto son modestas y que la implementación es factible. La optimización del diseño y la selección de componentes hidráulicos apropiados darán lugar a un sistema robusto y fiable.

#### Referencias

40 [1] Patente estadounidense nº 5.976.287 "*Method and Apparatus of Stud Array Upstand Setting*" a nombre de Parsons, Barker, Yabsley, Kesteven, Bird, Harrigan. 2 de noviembre de 1999.

45 [2] "*Hydraulically-Actuated Reconfigurable Tool for Flexible Fabrication: Implementation and Control*" de Daniel F. Walczyk, Yong-Tai Im, Instituto Politécnico de Rensselaer. Actas de la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos, volumen 122, páginas 562 a 568. Agosto de 2002.

[3] "*Tools of Change*" de John M. Papazian, *Northrop Grumman Corporation*, revista virtual *Mechanical Engineering*, Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos. Febrero de 2002.

50 [4] "*Using Reconfigurable Tooling and Surface Heating for Incremental Forming of Composite Aircraft Parts*" de Daniel F. Walczyk, Jean F. Hosford, Instituto Politécnico de Rensselaer, John M. Papazian, *Northrop Grumman Corporation*. Revista *Manufacturing Science and Engineering*, volumen 125, páginas 333 a 343, mayo de 2003.

[5] Patente estadounidense nº 6.012.314 "*Individual Motor Pin Module*" a nombre de Sullivan et al., 11 de enero de 2000.

55 [6] Patente estadounidense nº 6.053.026 "*Block Set Form Die Assembly*", a nombre de Nardiello et al., 25 de abril de 2000.

60 [7] Patente estadounidense nº 6.089.061 "*Modularised Reconfigurable Heated Forming Tool*", a nombre de Haas et al., 18 de julio de 2000.

[8] Patente estadounidense nº 6.578.399 "*Single Die Modularised Reconfigurable Honeycomb Core Forming Tool*", a nombre de Haas et al., 17 de junio de 2003.

[9] <http://www.matweb.com/index.asp?ckck=1> accedida en septiembre de 2005.

5 Aunque la invención se ha descrito con referencia a un ejemplo particular, debe entenderse que puede extenderse para colocar una disposición de pistones tanto por encima como por debajo de la pieza de trabajo. Esto permitirá la producción de paneles con curvaturas cóncavas y convexas. Como alternativa, la invención también puede utilizarse con diseños que sitúen las articulaciones de panel a lo largo de líneas de inflexión entre áreas cóncavas y convexas.

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa (10) para crear una forma tridimensional en una pieza de trabajo de malla o de chapa metálica maciza para producir un panel para una antena reflectora, comprendiendo la herramienta:
- una disposición de elementos de conformación extensibles (12) que se accionan en extensión para producir la misma fuerza por unidad de superficie a través de una pieza de trabajo (26) durante la conformación; y
- 10 una disposición de interruptores limitadores (32), **caracterizada porque** la disposición de interruptores limitadores (32) está situada delante de la disposición de elementos de conformación (12), de manera que cada elemento de conformación se acciona en extensión hacia un interruptor limitador respectivo durante la conformación;
- 15 activándose cada interruptor limitador, durante el uso, por la pieza de trabajo (26) a medida que se le da forma y cada interruptor (32), tras activarse, impide una extensión adicional del elemento accionado respectivo.
2. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según la reivindicación 1, en la que la disposición de interruptores limitadores define la forma que va a comunicarse a la pieza de trabajo.
- 20 3. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según la reivindicación 1 ó 2, en la que la herramienta incorpora una realimentación de control de forma o una corrección de errores a medida que se realiza la conformación.
- 25 4. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según la reivindicación 1, 2 ó 3, en la que los elementos de conformación comprenden cilindros y pistones hidráulicos, activándose cada uno de los mismos mediante una única fuente de alimentación hidráulica.
- 30 5. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según la reivindicación 4, en la que cada pistón está coronado por una pastilla basculante y cada pastilla basculante está interbloqueada con sus pastillas adyacentes para formar una superficie continua articulada, y en la que preferentemente las pastillas basculantes están dotadas de un asiento esférico para ajustarse a los extremos esféricos de los pistones de cilindro hidráulicos, o en la que preferentemente los interruptores limitadores están alineados verticalmente sobre pastillas basculantes respectivas.
- 35 6. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según cualquier reivindicación anterior, en la que un interpolador está situado sobre la superficie articulada para recibir la pieza de trabajo.
- 40 7. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que los pistones están dispuestos debajo de la pieza de trabajo para producir piezas de trabajo cóncavas.
- 45 8. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, en la que hay una disposición de pistones tanto por encima como por debajo de la pieza de trabajo.
- 50 9. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según cualquier reivindicación anterior, en la que cada interruptor limitador está conectado a una válvula de solenoide simple en la línea hidráulica que conduce hacia su cilindro respectivo, de manera que a medida que se da forma a la pieza de trabajo ésta hará contacto con uno o más de los interruptores limitadores y, en cuanto esto suceda, el interruptor se activará para cerrar la válvula de solenoide e impedir un movimiento adicional de la pastilla basculante respectiva.
- 55 10. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según cualquier reivindicación anterior, en la que los interruptores limitadores son dispositivos analógicos de contacto constante, y en la que preferentemente los interruptores limitadores están programados o configurados para activarse a una altura predeterminada.
- 60 11. Una herramienta de conformación por estirado reconfigurable activa según una cualquiera de las reivindicaciones 4 a 10, en la que las superficies de conformación de las pastillas basculantes están formadas con una radio esférico aproximadamente idéntico a la curvatura del panel requerido, y en la que preferentemente se proporciona a la herramienta una pluralidad de conjuntos de pastillas basculantes con una variedad de radios esféricos, o en la que preferentemente la parte superior de cada pastilla basculante es plana y está dotada de piezas de acoplamiento de diferente radio esférico.

12. Un procedimiento para crear formas tridimensionales en una pieza de trabajo de malla o de chapa metálica maciza, para producir un panel para una gran antena reflectora, comprendiendo el procedimiento:

5 estirar una pieza de trabajo metálica (26) en un estado plano delante de una disposición de elementos de conformación extensibles (12);

10 accionar cada elemento de conformación (12) de la disposición en extensión para producir la misma fuerza por unidad de superficie a través de la pieza de trabajo (26) para crear una forma en la pieza de trabajo (26); **caracterizado porque** el procedimiento comprende además las etapas de extender cada elemento de conformación (12) hacia un interruptor limitador respectivo (32) durante la conformación hasta que la pieza de trabajo (26) active el interruptor limitador (32); e

15 impedir una extensión adicional de un elemento de conformación tras la activación del interruptor limitador respectivo (32).

13. Un procedimiento según la reivindicación 12, que comprende la etapa adicional de aplicar una realimentación de control de forma o una corrección de errores a medida que se realiza la conformación.

20 14. Un procedimiento según la reivindicación 12 ó 13, en el que cada interruptor limitador está conectado a una válvula de solenoide simple en la línea hidráulica que conduce hacia su cilindro respectivo, de manera que a medida que se da forma a la pieza de trabajo ésta hará contacto con uno o más de los interruptores limitadores y, en cuanto esto suceda, el interruptor se activará para cerrar la válvula de solenoide e impedir un movimiento adicional de la pastilla basculante respectiva.

25 15. Un procedimiento según la reivindicación 12, 13 ó 14, en el que los interruptores limitadores están programados o configurados para activarse a una altura predeterminada.

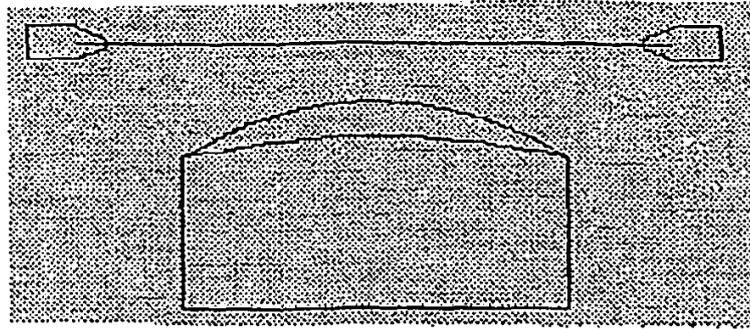


Fig. 1(a)

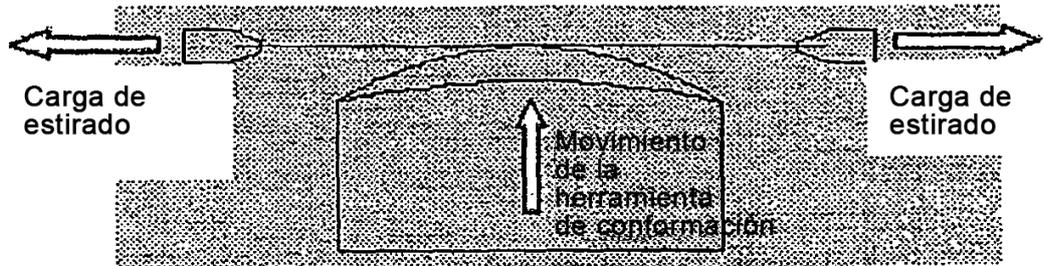


Fig. 1(b)

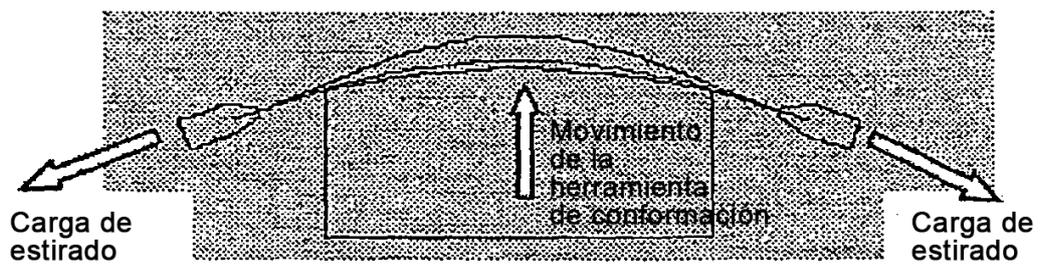


Fig. 1(c)

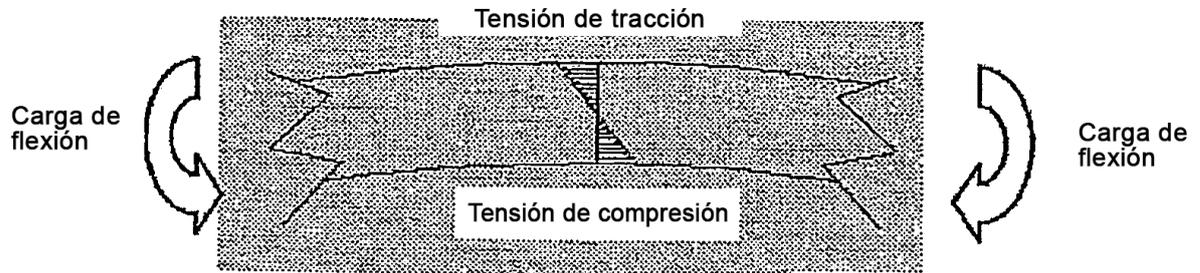


Fig. 2(a)

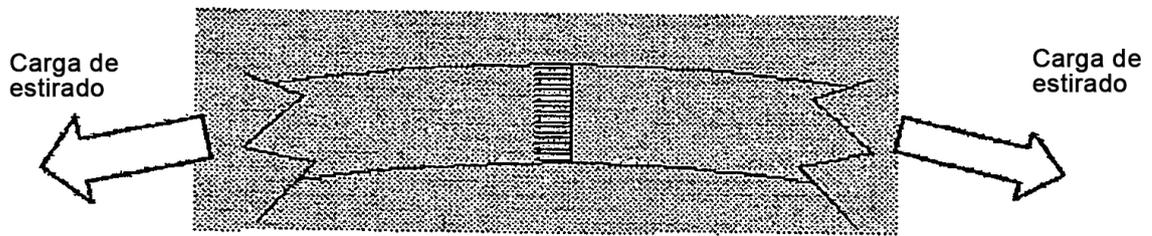


Fig. 2(b)

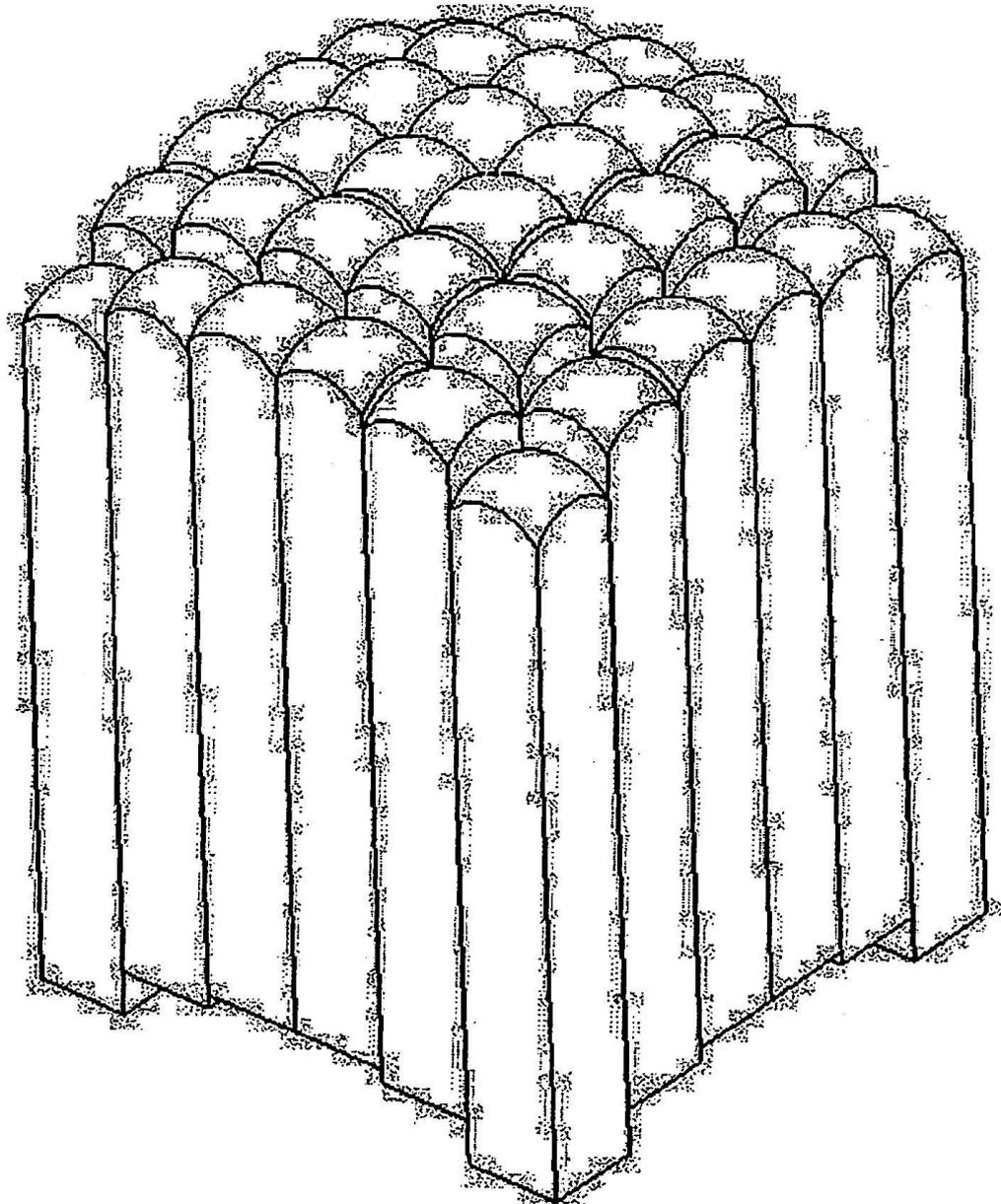
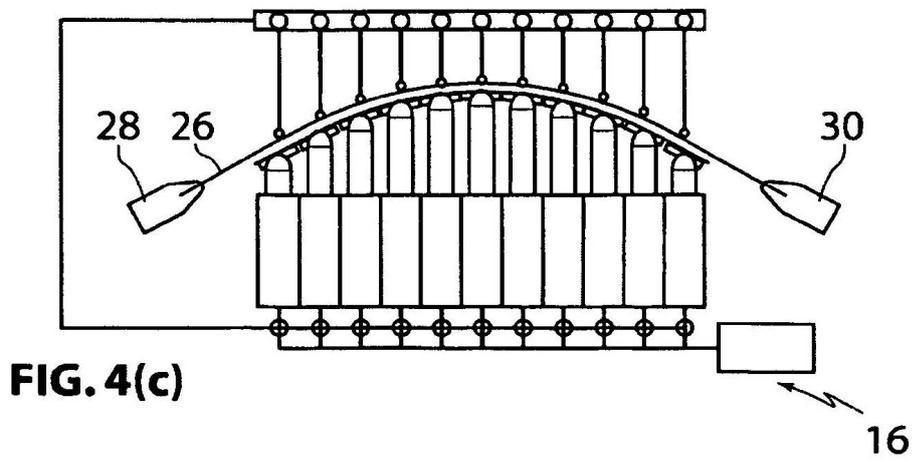
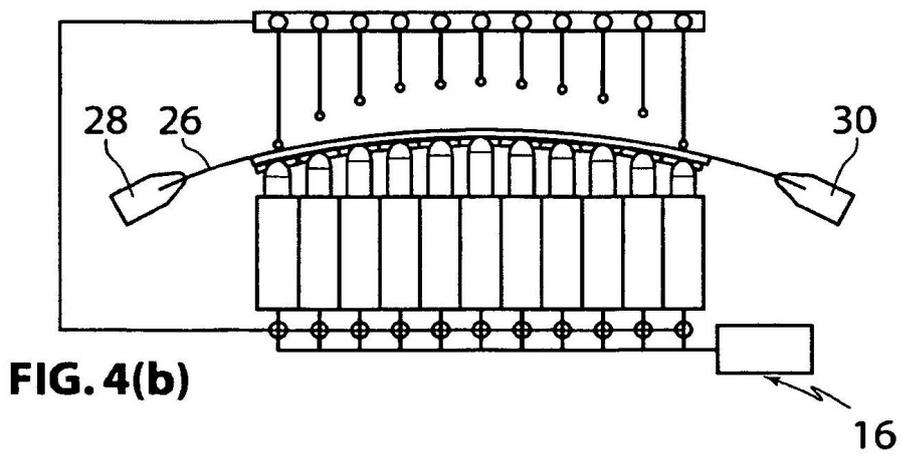
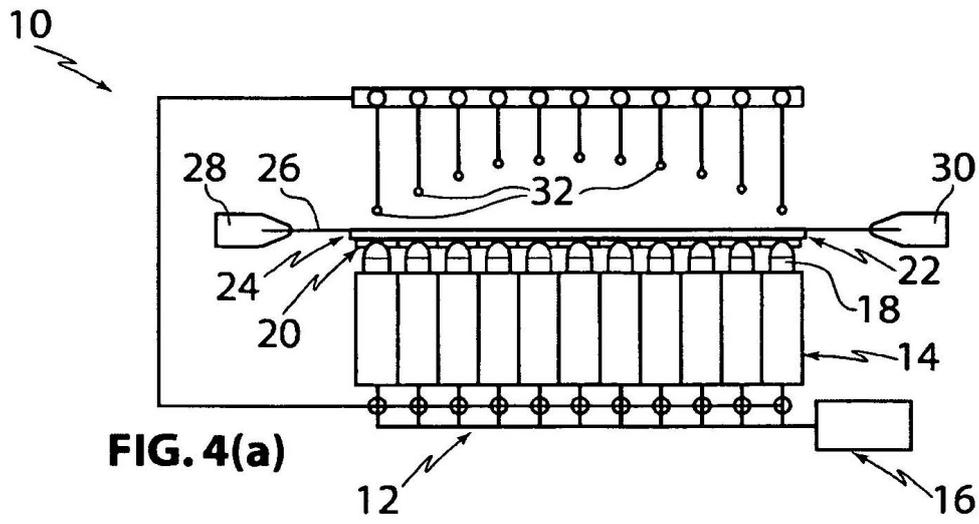


Fig. 3



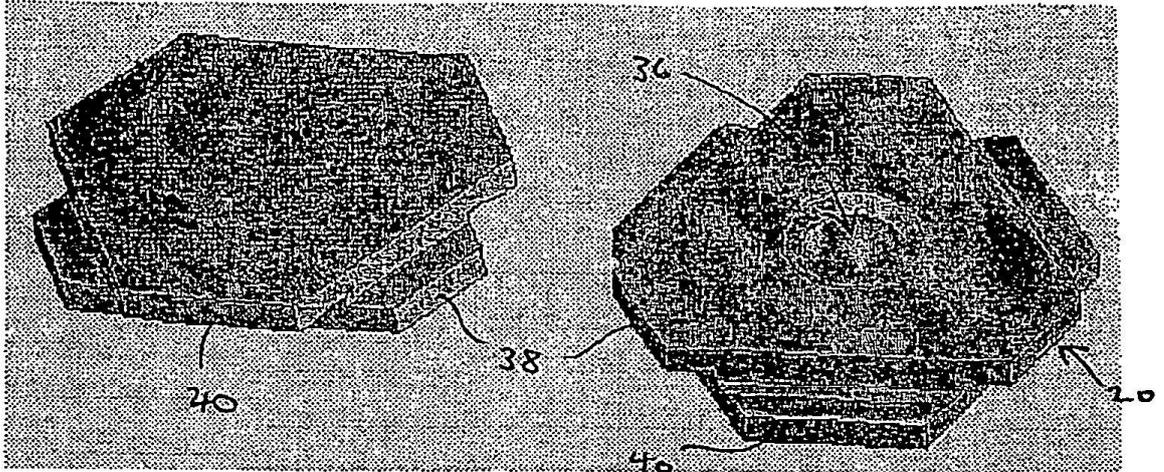


Fig. 5(a)

Fig. 5(b)

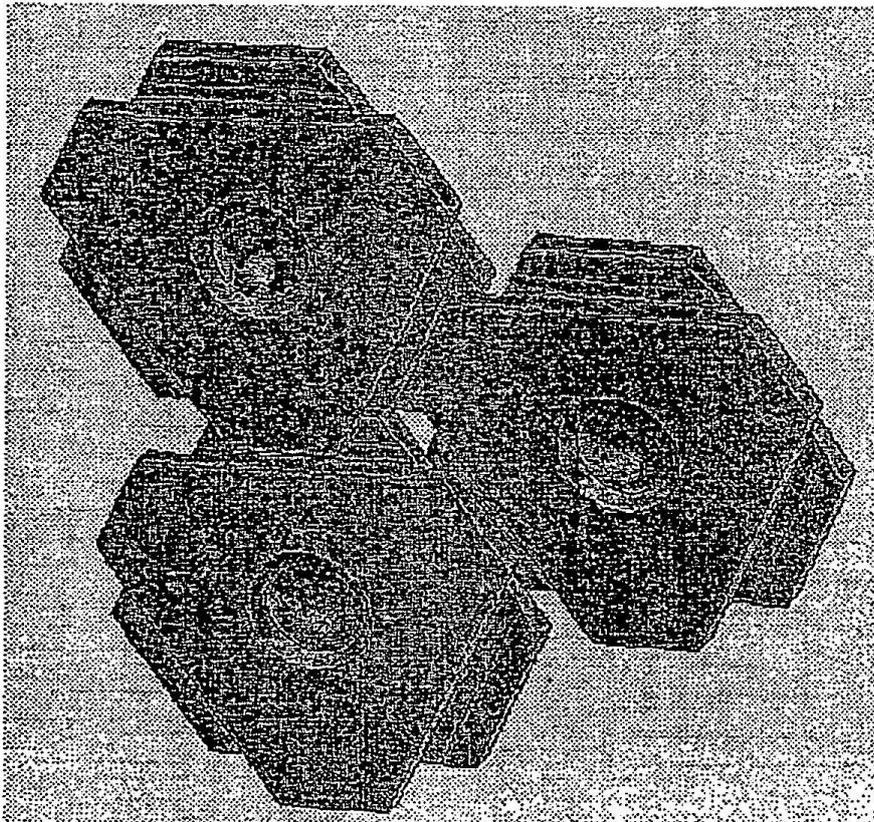


Fig. 6

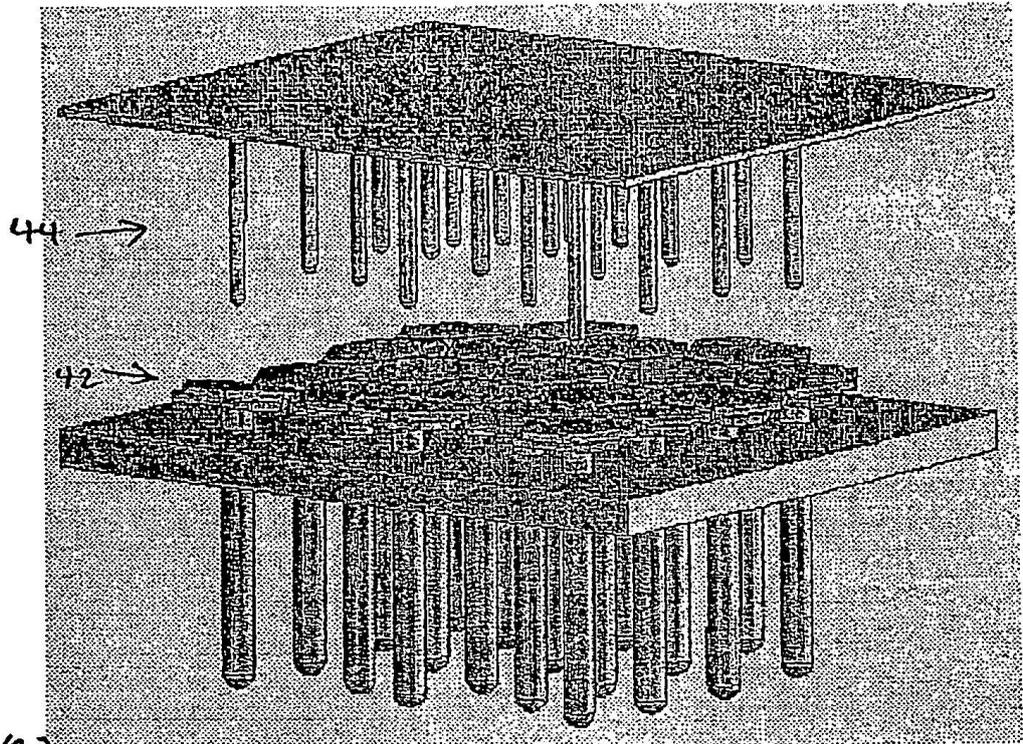


Fig. 7(a)

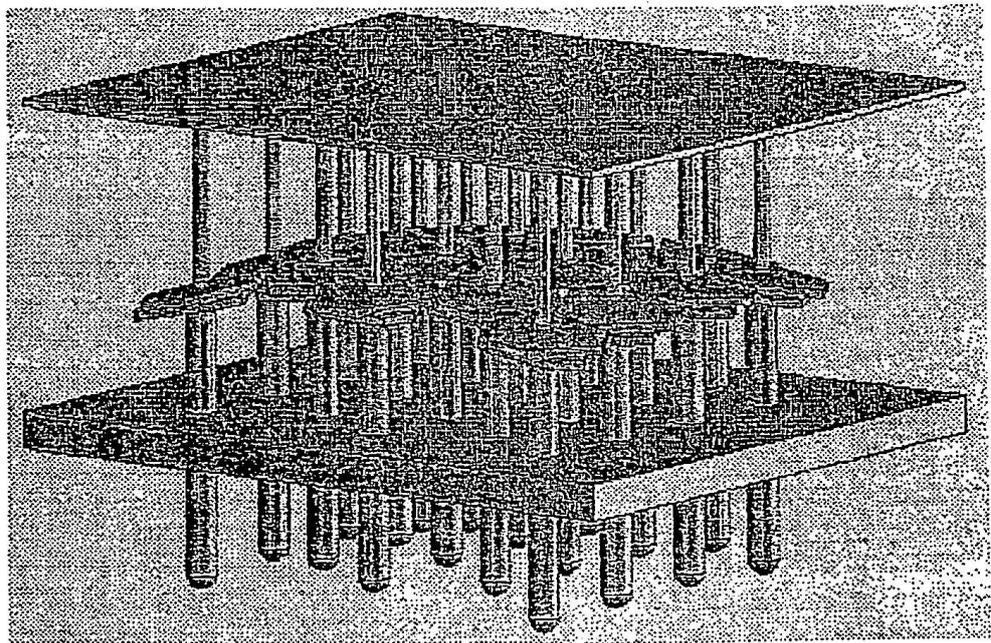


Fig. 7(b)