

(19)



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS
ESPAÑA



(11) Número de publicación: **2 926 553**

(51) Int. Cl.:

C22F 1/04 (2006.01)

C22F 1/047 (2006.01)

C22F 1/05 (2006.01)

(12)

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

(86) Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2015 PCT/GB2015/050737**

(87) Fecha y número de publicación internacional: **17.09.2015 WO15136299**

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2015 E 15753738 (2)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.07.2022 EP 3117019**

(54) Título: **Método de conformación de piezas a partir de láminas de aleación de aluminio**

(30) Prioridad:

14.03.2014 GB 201404650
26.02.2015 GB 201503238

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
26.10.2022

(73) Titular/es:

IP2IPO INNOVATIONS LIMITED (50.0%)
2nd Floor 3 Pancras Square, King's Cross
London N1C 4AG, GB y
IMPRESSION TECHNOLOGIES LIMITED (50.0%)

(72) Inventor/es:

ADAM, GEORGE;
BALINT, DANIEL;
DEAN, TREVOR;
DEAR, JOHN;
EL FAKIR, OMER;
FOSTER, ALISTAIR;
LIN, JIANGUO y
WANG, LILIANG

(74) Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 926 553 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método de conformación de piezas a partir de láminas de aleación de aluminio

5 **CAMPO**

La presente invención se refiere al conformado de piezas a partir de aleación de aluminio.

10 **ANTECEDENTES**

En general, es deseable que los componentes utilizados en aplicaciones automovilísticas y aeroespaciales se fabriquen a partir de un número de piezas tan reducido como sea compatible con el uso final de dichos componentes. Un método de fabricación de piezas que cumple con este requisito es el de conformar una única lámina de metal en una pieza utilizando un conjunto de matrices. Sin embargo, la complejidad de la forma de las piezas que pueden formarse de este modo está limitada por las propiedades mecánicas de la lámina metálica que se forma en el conjunto de matrices. Por un lado, puede ser demasiado frágil; por otro, puede ser demasiado dúctil. En cualquier caso, la conformación sería limitada. Anteriormente, estos inventores descubrieron que el tratamiento térmico de una lámina de metal y su posterior conformación rápida en conjunto de matrices en frío mejoran la conformación del metal, lo que permite fabricar componentes de formas más complejas a partir de una sola lámina. Por lo tanto, estos componentes ya no necesitan ser formados como un conjunto de varias piezas.

Este proceso se divulga en el documento WO 2010/032002 A1, que da a conocer un método de conformación de componentes de lámina de aleación de aluminio, utilizando un proceso de tratamiento térmico de solución, moldeado en frío y enfriamiento (HFQ (RTM)). En la figura 1 se muestra la temperatura de una lámina de aleación metálica a medida que pasa por dicho proceso. Esencialmente, este proceso HFQ (RTM) existente implica las siguientes etapas:

- (A) precalentar una pieza de lámina metálica hasta, o por encima, del rango de temperatura de tratamiento térmico de solución (SHT) del metal;
- (B) sumergir la pieza de trabajo a la temperatura de precalentamiento para permitir que el material reciba un tratamiento térmico completo en solución;
- (C) transferir la pieza de trabajo a un conjunto de matrices en frío y conformar rápidamente a la temperatura más alta posible y a una alta velocidad de conformación;
- (D) mantenimiento de la pieza formada en el conjunto de matrices en frío para un enfriamiento rápido (enfriamiento en la matriz fría) para conseguir una microestructura de material de solución sólida sobresaturada (SSSS), deseable para la resistencia postformación; y
- (E) envejecimiento artificial o natural de la pieza formada para obtener una resistencia mejorada para los materiales tratables térmicamente.

En la etapa C, la pieza se forma a una temperatura cercana a la temperatura SHT para permitir que la alta ductilidad del material se emplee en el conformado de la pieza. A esta alta temperatura, la pieza es muy blanda, dúctil y fácil de deformar. Por lo tanto, este método tiene ciertas ventajas sobre los métodos anteriores, incluyendo la posibilidad de conformar piezas de forma compleja (piezas complejas) con microestructuras SSSS deseables para una alta resistencia postformación, también tiene ciertos inconvenientes. A continuación, se describen estos inconvenientes.

La pieza es débil cuando está cerca de su temperatura SHT. Durante el conformado de piezas complejas, algunas zonas de la pieza están limitadas por la matriz, mientras que las otras se ven obligadas a fluir por encima de la misma. El flujo de material desde las zonas que se mantienen inmóviles en la matriz hasta las zonas que se estampan está restringido. Esto puede provocar un adelgazamiento localizado y un desgarro de la pieza. Esto se debe a que el proceso de conformación se beneficia menos del efecto del endurecimiento por deformación, que es más débil a temperaturas más altas, especialmente en el caso de las aleaciones de aluminio. El endurecimiento por deformación endurece el metal de modo que las zonas de la pieza que se han deformado se vuelven más duras y, por tanto, más fuertes. Esto aumenta la capacidad de estas zonas deformadas para arrastrar otro material en la región y arrastrar ese material hacia la matriz. El metal aspirado se tensa y se endurece. Esta deformación y endurecimiento en toda la lámina inhibe el adelgazamiento localizado y conduce a una deformación más uniforme. Cuanto mayor sea el endurecimiento por deformación, mayor será la tendencia a la deformación uniforme. Si el endurecimiento por deformación es débil, la deformación se localiza en zonas de alta ductilidad y se restringe el estiramiento, por lo que puede aumentar la incidencia del adelgazamiento localizado y el fallo. Esto degrada la conformación. Para aumentar la conformabilidad y la resistencia en este proceso, la pieza se forma en las matrices a una velocidad muy alta para compensar el endurecimiento por deformación más débil a altas temperaturas maximizando el efecto del endurecimiento por deformación.

La exigencia de una temperatura elevada para aumentar la ductilidad y de una velocidad de conformación elevada para aumentar el endurecimiento por deformación y el endurecimiento por velocidad de deformación puede conducir a los siguientes problemas:

- (i) Se transfiere una gran cantidad de calor a la matriz desde la pieza. Como el proceso de conformación requiere que las matrices permanezcan a baja temperatura para alcanzar la proporción de enfriamiento necesaria para obtener una microestructura SSSS, tienen que ser enfriadas artificialmente, en la superficie o mediante canales internos de transporte de refrigerante (o de otro modo). Los ciclos térmicos repetidos pueden provocar una degradación y un desgaste más rápidos de las matrices.
- 5 (ii) Para la producción en masa de piezas conformadas HFQ, el requisito de que las matrices estén refrigeradas complica el diseño, el funcionamiento y el mantenimiento de las mismas, y aumenta el coste del conjunto de matrices.
- 10 (iii) La presión y el tiempo de permanencia en la matriz son mayores, ya que la pieza conformada debe mantenerse entre las matrices hasta que se enfrie a la temperatura deseada. Esto consume más energía que los procesos con tiempos y presiones de conformación más bajos y reduce la eficacia de la conformación y, por tanto, la productividad.
- 15 (iv) La alta velocidad de conformación puede provocar importantes cargas de impacto cuando las matrices se cierran durante el conformado. Las cargas repetidas pueden provocar daños y desgaste en las matrices. También puede requerir el uso de materiales de matrices de alta durabilidad, lo que aumenta el coste del conjunto de matrices.
- (v) Se requieren prensas hidráulicas especializadas de alta velocidad para que el proceso proporcione la fuerza de cierre de la matriz. Estas prensas hidráulicas son costosas, lo que limita la aplicación de los procesos HFQ.

Sería deseable abordar al menos algunos de estos problemas con los procesos HFQ existentes.

20 Los documentos DE 10 2012 007 213 A1, DE 10 2010 045 025 A1 y DE 10 2012 001 020 A1 divulgán además métodos de conformación de piezas a partir de láminas de aleación de aluminio.

RESUMEN

25 Según la presente invención, se proporciona un método de conformación de una pieza a partir de láminas de aleación de metal, definiéndose el método por las reivindicaciones adjuntas.

[Materiales]

30 La lámina es una aleación de aluminio. La lámina es de la aleación AA6XXX o AA7XXX. Puede ser de la aleación de aluminio 6082. La lámina puede ser de cualquier aleación que requiera un tratamiento térmico de solución antes de su conformación. La lámina puede ser de aleación templada. La lámina puede ser de una aleación no templada. La lámina puede ser de aleación recocida.

[Etapa (a)]

35 [Temperatura SHT]

La temperatura a la que se calienta la lámina en la etapa (a) dependerá de la aleación y de la aplicación de la pieza acabada. Hay una gama de temperaturas a las que se puede lograr el tratamiento térmico de solución (SHT). El 40 extremo inferior de ese rango es la temperatura de solubilidad de la aleación. La temperatura de disolución se define como la temperatura a la que los elementos de aleación de la lámina que van a precipitar entran en solución o empiezan a hacerlo. El extremo superior de ese rango puede ser la temperatura de solidificación de la aleación. La temperatura de solidificación puede definirse como la temperatura a la que precipitan los elementos de aleación de la lámina. La etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina hasta al menos la temperatura a la que se disuelven los precipitados de la aleación. Cuando la lámina de aleación de metal es la aleación de aluminio 6082, la etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina a una temperatura entre 520°C y 575°C (575°C es la 45 temperatura de solidificación de la aleación de aluminio 6082). Cuando la lámina de aleación de metal es la aleación de aluminio 6082, la etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina a una temperatura entre 520°C y 565°C. Cuando la lámina de aleación de metal es de aleación de aluminio 6082, la etapa (a) puede comprender el 50 calentamiento de la lámina a una temperatura comprendida entre 520°C y 540°C. Cuando la lámina de aleación de metal es la aleación de aluminio templado 6082, la etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina a 525°C. Cuando la aleación es una aleación AA7XXX, la etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina a entre 460°C y 520°C.

55 [Sumersión]

La etapa (a) puede comprender el calentamiento de la lámina a una temperatura comprendida en el intervalo de temperaturas a las que se produce el tratamiento térmico de solución de la aleación y su mantenimiento dentro de este intervalo de temperaturas durante al menos 15 segundos. Cuando la lámina es de aleación metálica templada, la 60 etapa (a) puede comprender el mantenimiento de la lámina dentro de este rango de temperatura durante entre 15 y 25 segundos. Cuando la lámina es de aleación metálica templada, la etapa (a) puede comprender el mantenimiento de la lámina dentro de este rango de temperatura durante al menos un minuto. Si la lámina es de una aleación metálica no templada, la etapa (a) puede comprender el mantenimiento de la lámina dentro de este intervalo de temperatura durante al menos cinco minutos. Mantener la lámina dentro de su rango de temperatura de tratamiento térmico de solución disuelve los elementos de aleación en la matriz metálica.

[Efectos]

5 Mediante el tratamiento térmico en solución de la lámina antes de su conformación, pueden alcanzarse ductilidades más elevadas que en un proceso sin la etapa SHT.

[Etapa (b)]

10 El método difiere del proceso descrito en la sección WO 2010/032002 A1 al menos en que incluye la etapa (b) de enfriar la lámina al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación, después de calentar la lámina a una temperatura a la que se produce el tratamiento térmico de solución (SHT), antes de colocar la lámina entre las matrices. A continuación, se describe el enfriamiento uniforme (enfriamiento de toda la lámina a prácticamente la misma temperatura), así como el enfriamiento no uniforme (enfriamiento de una zona de la lámina a una temperatura diferente a la del resto de la lámina). Sólo el caso del enfriamiento no uniforme se ajusta a la presente invención.

15 [Índice de enfriamiento]

20 El índice de enfriamiento crítico de la etapa (b) difiere según la aleación. La etapa b) puede comprender el enfriamiento de la lámina a una velocidad mínima que evite la precipitación microestructural en la aleación. El enfriamiento por encima del índice de enfriamiento crítico evita la conformación de precipitados gruesos en los límites de los granos, lo que puede reducir su resistencia posterior. Cuando la lámina de aleación de metal es una aleación de aluminio con una primera fracción de masa de Mg y Si, la etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina al menos a 10°C por segundo. La etapa b) puede comprender el enfriamiento de la lámina a una velocidad de al menos 20°C por segundo. Cuando la lámina de aleación de metal es una aleación de aluminio con una segunda fracción másica de 25 Mg y Si, superior a la primera fracción másica de Mg y Si, la etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina al menos a 50°C por segundo. Cuando la lámina de aleación de metal es la aleación de aluminio 6082 el enfriamiento al menos a esta velocidad evita la precipitación gruesa en el metal. La etapa b) puede comprender la medición de la temperatura de la lámina en una o más posiciones de la misma. La temperatura o las temperaturas pueden medirse continuamente o en intervalos. La etapa b) puede comprender el control de la velocidad de enfriamiento de la lámina 30 en función de la temperatura o temperaturas medidas.

[Duración del enfriamiento]

35 La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 10 segundos. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 5 segundos. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 3 segundos. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 2 segundos. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 1 segundo. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 0,5 segundos. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante menos de 0,1 segundos. Cuando la lámina de aleación de metal es 40 AA6082, la etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina durante entre 1 y 3 segundos.

[Temperatura objetivo]

45 La etapa (b) puede incluir el enfriamiento de la lámina hasta que se alcance una temperatura objetivo. La etapa (b) de enfriamiento de la lámina puede comprender el enfriamiento de toda la lámina hasta prácticamente la misma temperatura.

50 La temperatura deseada a la que se enfriá la plancha antes de la etapa (c) depende de la forma de la pieza a formar, del material con el que se forma y de las propiedades mecánicas requeridas para la pieza acabada. La lámina puede enfriarse a la temperatura más baja que permita la conformación de la pieza. La lámina puede enfriarse a la temperatura más baja que permita la conformación de la pieza de manera que tenga las características deseadas. Por ejemplo, si la lámina se enfriá a una temperatura demasiado baja, puede producirse un retroceso inaceptable. La lámina puede enfriarse a la temperatura más baja que permita a la pieza soportar la tensión máxima que experimentará durante el conformado sin que se produzcan fallos. La lámina puede enfriarse a una temperatura entre 50°C y 300°C. 55 La lámina puede enfriarse a una temperatura de entre 100°C y 250°C. La lámina puede enfriarse a una temperatura de entre 150°C y 200°C. La lámina puede enfriarse a una temperatura de entre 200°C y 250°C. Cuando la lámina está formada por la aleación de aluminio 6082, la lámina puede enfriarse a una temperatura de entre 200°C y 300°C. Cuando la lámina está formada por la aleación de aluminio 6082, la lámina puede enfriarse a 300°C.

60 [Medios de enfriamiento]

Se prevé que el enfriamiento de la lámina se produzca por algún medio artificial, en lugar de simplemente por el aire ambiente, sin movimiento. La etapa (b) puede comprender la aplicación de un medio de enfriamiento a la lámina. La etapa (b) puede comprender la dirección de un medio de enfriamiento a la lámina calentada.

[Enfriamiento mediante un fluido]

El medio de enfriamiento puede ser un fluido. El fluido puede ser un gas, por ejemplo, aire. El fluido puede ser un líquido, por ejemplo, agua. El fluido puede comprender gas y líquido, por ejemplo, aire y agua. El fluido puede distribuirse en forma de flujo presurizado. El fluido puede distribuirse en forma de chorro. El fluido puede ser dirigido como un spray de niebla. El fluido puede dirigirse con una duración, temperatura y/o flujo de masa tal que la lámina se enfríe al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación.

[Enfriamiento por un sólido]

El medio de refrigeración puede ser un sólido con una conductividad térmica superior a la del aire. El medio de enfriamiento puede ser un sólido con una conductividad térmica superior a la del agua. El sólido puede aplicarse con una presión y/o duración tal que la lámina se enfríe al menos a el índice de enfriamiento crítico para la aleación. El sólido puede ser un adhesivo de transferencia de cobre. El sólido puede ser un bloque de enfriamiento. El sólido puede ser una placa conductora. El sólido puede comprender rodillos retráctiles dispuestos para facilitar el posicionamiento de la lámina en el bloque. El sólido puede comprender una superficie dispuesta, al menos parcialmente, para entrar en contacto con la lámina, y la superficie define al menos una abertura dispuesta para ser conectada a una unidad de vacío, de modo que la presión en la al menos una abertura sea inferior a la presión atmosférica. De este modo, la lámina puede mantenerse sobre el sólido gracias a la presión manométrica negativa en la al menos una abertura. El sólido puede comprender una banda bimetálica dispuesta para levantar al menos parcialmente la lámina del sólido cuando la banda alcanza una temperatura a la que la lámina debe enfriarse antes de la etapa c). Se puede aplicar una carga al sólido para aumentar la presión del sólido sobre la lámina.

[Enfriamiento por convección]

La etapa b) puede comprender la transferencia de la lámina a una cámara de temperatura controlada. La cámara de temperatura controlada puede estar dispuesta para enfriar la lámina al menos a el índice de enfriamiento crítico de la aleación. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura inferior a 300°C. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura igual o inferior a 250°C. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura igual o inferior a 200°C. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura igual o inferior a 150°C. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura igual o inferior a 100°C. La cámara de temperatura controlada puede estar a una temperatura igual o inferior a 50°C. La etapa (b) puede comprender el mantenimiento de la lámina en una cámara de temperatura controlada hasta que se alcance una temperatura objetivo.

[Enfriamiento no uniforme]

La etapa (b) de enfriamiento de la lámina según la presente invención comprende enfriar selectivamente al menos una zona de la lámina a una temperatura diferente del resto de la lámina. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento selectivo de al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura, a la que se enfría al menos una segunda zona de la lámina. En otras palabras, el enfriamiento puede ser no uniforme. De este modo, la temperatura a la que se enfrían al menos la primera y la segunda zona puede seleccionarse en función de la complejidad de la geometría de las matrices en dichas zonas. Por ejemplo, la primera zona enfriada a la primera temperatura puede ser una zona de la lámina en la que se requiera una mayor resistencia que en la segunda zona para evitar que se produzca un adelgazamiento localizado. La temperatura a la que se enfrían al menos la primera y la segunda zona puede seleccionarse en función de las fuerzas que estas zonas experimentarán en la matriz, o puede seleccionarse en función de las fuerzas que estas zonas experimentarán en su uso una vez formadas. La temperatura a la que se enfrían al menos la primera y la segunda zona puede seleccionarse para proporcionar un fallo controlado de una pieza formada a partir de la pieza de trabajo. La primera zona enfriada a una primera temperatura puede ser una zona de la lámina más gruesa que la segunda zona enfriada a la segunda temperatura. La etapa b) puede comprender el enfriamiento selectivo de al menos una zona de la lámina a una temperatura diferente de al menos una segunda zona de la lámina, de manera que la pieza acabada tenga al menos una zona de resistencia reducida y/o ductilidad aumentada en relación con la al menos una segunda zona de la lámina. Esto puede proporcionar un fallo controlado de la pieza acabada en condiciones de choque.

[Enfriamiento no uniforme por un fluido]

Cuando el enfriamiento no es uniforme y se dirige un fluido refrigerante a la lámina calentada, el fluido puede dirigirse con una duración más larga, una temperatura más baja y/o un mayor flujo de masa a la primera zona de la lámina para enfriarla a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfría al menos una segunda zona de la lámina.

[Enfriamiento no uniforme por un sólido]

Cuando el enfriamiento no es uniforme y se aplica a la lámina un sólido con una conductividad térmica superior a la del aire, la etapa b) puede comprender el enfriamiento selectivo de al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura inferior a una segunda temperatura a la que se enfría al menos una segunda zona de la lámina, aplicando el sólido con mayor presión a la primera zona que a la segunda.

- 5 El sólido puede comprender una superficie dispuesta para estar en contacto con la lámina, estando al menos una primera zona de dicha superficie en relieve con respecto a al menos una segunda zona. De este modo, cuando el sólido se aplica a la lámina, la al menos una primera zona entra en contacto con la lámina con mayor presión que la al menos una segunda zona. La etapa b) puede comprender el enfriamiento selectivo de al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfría al menos una segunda zona de la lámina, aplicando el sólido a la primera zona y no a la segunda. El sólido puede comprender una superficie dispuesta, al menos parcialmente, en contacto con la lámina. Es decir, al menos una parte de la superficie puede estar dispuesta para entrar en contacto con al menos una parte de la lámina. La superficie puede estar formada por un primer material con una primera conductividad térmica y un segundo material con una segunda conductividad térmica inferior a la primera. De este modo, cuando la superficie está en contacto con la lámina, el primer material enfriará la lámina más rápidamente que el segundo material.

Cuando el sólido comprende una superficie dispuesta para entrar en contacto con la lámina, la superficie que define al menos una abertura dispuesta para ser conectada a una unidad de vacío de manera que la presión en la al menos una abertura sea inferior a la presión atmosférica, la etapa b) puede comprender el funcionamiento de la unidad de vacío para imponer una primera presión en una primera abertura que sea inferior a una segunda presión en una segunda abertura, siendo la primera y la segunda presiones inferiores a la presión atmosférica. De este modo, una zona de la lámina adyacente a la primera abertura será atraída por la lámina con más fuerza que una zona de la lámina adyacente a la segunda abertura, de modo que la primera zona es enfriada por el sólido más rápidamente que la segunda.

[Cuando se enfría]

30 La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina sobre una superficie en una estación de enfriamiento. La estación de enfriamiento puede formar parte de un aparato dispuesto para transferir la lámina a las matrices. La etapa (b) puede comprender el enfriamiento de la lámina mientras ésta se transfiere a las matrices. Puede comprender el enfriamiento de la lámina mientras ésta se mantiene en una pinza para transferir la lámina de un horno a las matrices. La etapa b) puede comprender el enfriamiento de la lámina en las matrices. Cuando la etapa b) comprende el enfriamiento de la lámina en las matrices, éstas pueden estar dispuestas para dirigir el fluido hacia la lámina. El fluido puede utilizarse para limpiar las matrices.

[Efectos]

40 Al enfriar la lámina al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación (después de calentar la lámina dentro de su rango de temperatura SHT y antes de colocar la lámina entre las matrices) se evita la precipitación microestructural en la aleación, y la lámina está más fría cuando se coloca en las matrices que en un proceso sin la etapa de enfriamiento (b). Por lo tanto, la lámina puede formarse a una temperatura más baja que en el método HFQ (RTM) existente descrito en el documento WO 2010/032002 A1. Dado que la lámina se forma a una temperatura más baja, su resistencia será mayor y el efecto de endurecimiento por deformación será mayor, lo que facilitará un mayor arrastre de material. En otras palabras, el efecto de endurecimiento por deformación hace que la deformación de la lámina sea más uniforme, con una zona deformada que se hace más fuerte, provocando la deformación en otras zonas, que a su vez se hacen más fuertes. Esto reduce la probabilidad de que se produzca un adelgazamiento localizado, mejorando la conformación de la lámina. La introducción de la etapa de enfriamiento (b) en el proceso HFQ (RTM) existente permite mejorar aún más las ventajas del conformado HFQ (RTM), al tiempo que mitiga sus inconvenientes.

55 La característica de enfriar la lámina al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación aumenta así la resistencia de la pieza formada, manteniendo al mismo tiempo la suficiente ductilidad de la lámina para permitir su conformación.

[Etapa (c)]

60 En la etapa (c), en la que se coloca la lámina entre las matrices para darle forma a la pieza compleja, las matrices pueden tener una forma que tenga en cuenta el adelgazamiento local de la lámina. En otras palabras, las superficies de las matrices dispuestas para entrar en contacto con la lámina pueden estar conformadas para seguir los contornos del grosor de la pieza formada. Las matrices pueden ser matrices frías. Las matrices pueden enfriarse. Por lo tanto, la lámina puede enfriarse más en las matrices.

[Efectos]

Al conformar la lámina en matrices en frío, se evitan los problemas de la conformación en caliente de baja rentabilidad (debido al calentamiento de la lámina y del conjunto de matrices), y de la posibilidad de destrucción de la microestructura de la pieza (degradación de la resistencia postformación).

5 [Aplicaciones]

El método puede ser un método de conformación de piezas complejas. El método puede ser un método de conformación de piezas para aplicaciones de automoción. El método puede ser un método de conformación de piezas para aplicaciones aeroespaciales. El método puede ser un método de conformación de piezas de panel para aplicaciones aeroespaciales. El método puede ser un método de conformación de componentes de láminas estructurales interiores, piezas portantes o piezas adaptadas para soportar cargas en estructuras estáticas o móviles.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

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

La figura 1 es un gráfico que muestra la temperatura de una lámina de aleación metálica a medida que pasa por un proceso de HFQ (RTM) existente;

20 La figura 2(a) muestra los historiales de temperatura utilizados para los ensayos de tracción uniaxial de una lámina de aleación metálica a 300°C con y sin SHT previo;

La figura 2(b) muestra una comparación del comportamiento mecánico del metal a 300°C con y sin SHT previo, para simular el efecto de la etapa (b), además del comportamiento del metal a 450°C con SHT previo, para simular el proceso convencional de HFQ (RTM);

25 La figura 3 muestra un diagrama de proceso para una realización de un método de conformación de una pieza compleja a partir de una lámina de aleación de metal;

La figura 4 muestra una vista esquemática de una lámina de aleación metálica (una pieza de trabajo) sobre una placa de refrigeración conductora con conductos de vacío;

30 La figura 5 muestra una pieza de trabajo en una estación de enfriamiento con un conjunto de boquillas para enfriar la pieza de trabajo con una niebla de aire y agua; y

La figura 6 muestra una pieza de trabajo en una estación de enfriamiento con placas conductoras en forma de bloques de enfriamiento superior e inferior.

DESCRIPCIÓN ESPECÍFICA DE ALGUNAS REALIZACIONES DE EJEMPLO

35 En la figura 1 se muestra un gráfico de la temperatura de la pieza en función del tiempo para el método de tratamiento térmico de solución, conformación en frío y enfriamiento (HFQ (RTM)) descrito en el documento WO 2010/032002 A1. Brevemente, este método consiste en calentar una pieza de lámina metálica hasta, o por encima, de su temperatura SHT; sumergirla a esta temperatura; transferirla a un conjunto de matrices en frío; y conformarla rápidamente en la forma de la pieza. A continuación, la pieza formada se enfria en las matrices y se envejece de forma artificial o natural. Como se ha comentado anteriormente, una consideración importante en este método existente es que la lámina de aleación de metal esté lo más cerca posible de su temperatura SHT cuando se forme.

40 Por el contrario, el método que ahora se describirá, incluye un paso adicional de enfriamiento de la lámina al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación, antes de colocarla en las matrices.

Con referencia ahora a la figura 3, el método, que es un método de conformación de una pieza compleja a partir de una lámina de aleación de metal, que es una lámina de AA6082 templada (la "pieza de trabajo"), implica, en resumen, las siguientes etapas: tratamiento térmico de la solución (A) de la pieza de trabajo; enfriamiento rápido de la misma (B) a la temperatura a la que se va a formar; conformación (C) en matrices de una pieza de la pieza de trabajo, y enfriamiento posterior en las matrices; y liberación (D) de las matrices y retirada de la pieza formada.

Con referencia continua a la figura 3, cada uno de estos pasos se describe ahora con más detalle.

55 [Etapa (A)]

La etapa (A) incluye el tratamiento térmico de solución de la pieza. La pieza de trabajo se calienta a una temperatura a la que se produce el tratamiento térmico en solución de la aleación. En esta realización, se calienta a 525°C. Se utiliza un horno para calentar la pieza, aunque en otras realizaciones pueden utilizarse otras estaciones de calentamiento, por ejemplo, un horno de convección. La pieza se sumerge a esta temperatura para disolver la mayor cantidad posible de elementos de aleación en la matriz de aluminio. Esto permite que la pieza sea tratada térmicamente por completo en solución. En este caso, la pieza se remoja entre 15 y 25 segundos. Sin embargo, la temperatura y el tiempo varían en función de una serie de factores que se comentan a continuación.

65 La temperatura y el tiempo seleccionados dependen de la serie de aleaciones.

La temperatura y el tiempo también dependerán de si la pieza ha sido templada o no. En esta realización, como se ha mencionado anteriormente, la pieza ha sido templada. En las realizaciones en las que la pieza de trabajo no ha sido templada (por ejemplo, en las realizaciones en las que el método de conformación de una pieza compleja se lleva a cabo en la lámina de aleación de metal después de laminar la lámina, o después de recocido de la lámina) el tratamiento térmico de solución se lleva a cabo manteniendo la pieza de trabajo dentro del rango de temperatura durante más tiempo que los 15 a 25 segundos utilizados para la pieza de trabajo de aleación de aluminio templado 6082 de la realización descrita anteriormente. Por ejemplo, en ciertas realizaciones, la pieza se mantiene dentro del rango de temperatura durante al menos 1 minuto, y en otras, se mantiene dentro del rango de temperatura durante al menos 10 minutos.

El tiempo de sumersión también depende de la temperatura seleccionada y del ritmo de calentamiento hacia esa temperatura. Dependiendo de la aleación, la sumersión a una temperatura más alta durante un tiempo corto puede causar una caída en las propiedades mecánicas finales de la pieza, como la ductilidad a temperatura ambiente, en comparación con el SHT a una temperatura más baja durante un tiempo más largo. Sin embargo, el calentamiento a una temperatura alta durante un tiempo más corto aumenta la velocidad con la que se pueden formar las piezas mediante este proceso. El AA6082 (la aleación de la presente realización), contiene adiciones para detener el crecimiento del grano. Por lo tanto, se puede calentar durante un tiempo más corto a una temperatura más alta, sin comprometer las propiedades mecánicas de la pieza acabada. En otras realizaciones, por tanto, la pieza se calienta a una temperatura superior a 525°C, por ejemplo, 560°C. En las realizaciones en las que el calentamiento hasta la temperatura final deseada lleva más tiempo que en esta realización descrita, la sumersión adicional es innecesaria. Por ejemplo, calentar la pieza a 560°C en un horno de convección puede llevar unos diez minutos. En este caso, la pieza no se mantiene a esta temperatura, ya que el SHT se ha conseguido durante la fase de calentamiento.

En algunas realizaciones, la pieza de trabajo no necesita ser empapada en absoluto, ya que el SHT puede lograrse a medida que la pieza de trabajo se calienta hacia una temperatura final.

[Etapa (B)]

30 [Enfriamiento uniforme]

El enfriamiento uniforme se describe únicamente con fines ilustrativos. No entra en el ámbito de las reivindicaciones. En la etapa (B), la pieza se enfriá a la temperatura a la que se va a formar. En este caso, la pieza se enfriá uniformemente a 300°C. La temperatura a la que se enfriá la pieza en bruto y el tiempo de enfriamiento dependen del grosor de la pieza, así como del método de enfriamiento utilizado. Las propiedades mecánicas del metal de la pieza a diferentes temperaturas y/o velocidades de deformación pueden caracterizarse mediante técnicas avanzadas de ensayo de materiales. La modelización avanzada de materiales y la modelización por elementos finitos (FE) se utilizan para predecir los límites de conformación del material en condiciones de conformación específicas. Los parámetros de conformación más apropiados se seleccionan basándose en las predicciones de la modelización. En algunas realizaciones, los modelos de elementos finitos del proceso de conformación también ayudan a identificar los niveles máximos de deformación en una pieza, y se selecciona una temperatura y un tiempo de enfriamiento que permitan alcanzar estas deformaciones. Por ejemplo, en un caso alternativo en el que la pieza es de AA6082 y tiene un grosor de 2 mm, la pieza se enfriá a 350 °C y el tiempo de enfriamiento oscila entre 1 y 3 segundos.

45 Con referencia ahora a la figura 5, en este caso la pieza (52) se enfriá en una estación de enfriamiento (50) en una línea de producción (no mostrada) entre el horno y las matrices (también no mostrada) como parte de un sistema (no mostrado) que transfiere la pieza (52) entre el horno y las matrices. En la estación de enfriamiento (50), la pieza de trabajo (52) se coloca en una superficie de una unidad de retención de piezas (55) y se enfriá mediante una niebla de aire y agua. Un conjunto de boquillas (51) liberan el agua a presión en forma de un fino chorro. El número de boquillas utilizadas se selecciona en función de la velocidad de enfriamiento requerida y del tamaño de la pieza. Cuando se requiere el enfriamiento de la totalidad de una pieza grande a un ritmo elevado, el número de boquillas necesarias es mayor que, por ejemplo, el número de boquillas necesarias para enfriar una pieza pequeña a un ritmo menor.

55 La pieza se enfriá al menos al índice de enfriamiento crítico para la aleación, es decir, a una velocidad que evite la conformación y el crecimiento indeseados de precipitados, pero que mantenga una alta ductilidad. En este caso, una velocidad de enfriamiento de 50°C por segundo consigue este efecto. Para otras aleaciones, el índice de enfriamiento crítico para la aleación será diferente.

60 Se utiliza un bucle de control para supervisar y ajustar el enfriamiento de la pieza (52). La temperatura de la pieza (52) se mide mediante termopares (53). El caudal másico del chorro de agua a presión procedente del conjunto (51) de boquillas es controlado por una unidad de control de caudal (54). La unidad de control de flujo (54) compara las temperaturas medidas por los termopares (53) con las temperaturas de referencia (es decir, las temperaturas que definen una proporción de enfriamiento que evita la conformación y el crecimiento indeseados de precipitados, pero mantiene una alta ductilidad). La unidad de control de flujo (54) aumenta el caudal másico del chorro de agua a presión procedente del conjunto (51) de boquillas cuando las temperaturas medidas por los termopares (53) disminuyen a un

ritmo inferior a las temperaturas de referencia. A la inversa, la unidad de control de flujo (54) disminuye el caudal másico del chorro de agua a presión del conjunto (51) de boquillas cuando las temperaturas medidas por los termopares (53) disminuyen a un ritmo superior al ritmo de disminución de las temperaturas de referencia. El tiempo durante el cual el conjunto de boquillas (51) lanza un chorro de agua a presión sobre la pieza (52) también es controlado por la unidad de control de flujo (54) en función de las temperaturas medidas por los termopares (53). Cuando las temperaturas medidas indican que la pieza (52) se ha enfriado a la temperatura deseada -en este caso cuando la pieza (52) se ha enfriado uniformemente a 300°C- la unidad de control de flujo (54) cesa el chorro de agua a presión sobre la pieza (52).

5 10 [Etapa (C)]

Con referencia una vez más a la Figura 3, en la etapa (C), se forma una pieza a partir de la pieza de trabajo en un conjunto de matrices frías. En esta realización, la pieza también se mantiene bajo presión en el conjunto de matrices para enfriarla aún más.

15 20 25 En esta realización, las matrices están conformadas para tener en cuenta el adelgazamiento local de la pieza. Antes de la fabricación de las matrices, se utiliza la simulación para refinar las geometrías superficiales planificadas de las matrices de acuerdo con el grosor de la pieza que se va a formar en las matrices, incluyendo el adelgazamiento local. En los métodos existentes, la superficie de las matrices se diseña y mecaniza basándose en la suposición de que la lámina que va a ser formada por las matrices tendrá un grosor uniforme. Por ejemplo, la superficie de la matriz se diseña y mecaniza para una lámina de espesor nominal más un 10% de tolerancia. Por el contrario, en esta realización, las superficies de las herramientas están formadas para seguir los contornos del espesor de la pieza formada. Esto aumenta el contacto entre la pieza y la matriz para mejorar la conducción del calor hacia la matriz.

25 30 35 [Etapa (D)]

En la etapa (D), las matrices son liberadas. Una vez que la pieza se ha enfriado a una temperatura suficientemente baja -en esta realización, se enfriá a unos 100°C- se retira.

30 La resistencia final de la pieza se mejora después del proceso de conformación mediante el envejecimiento artificial (no se muestra en la figura 3).

[Efectos y ventajas]

35 En comparación con el proceso HFQ (RTM) existente, las ventajas de este método pueden resumirse del siguiente modo:

(i) La menor temperatura de conformación da lugar a menores temperaturas de la matriz y a ciclos térmicos menos intensos, lo que aumenta la vida útil de la misma.

40 (ii) Se transfiere menos calor a las matrices. En muchas realizaciones, la convección/conducción natural es suficiente para enfriar la pieza en las matrices y se elimina la necesidad de enfriarlas. Esto puede simplificar el diseño de las matrices y reducir los costes. Por ejemplo, en las aplicaciones aeroespaciales, las piezas suelen formarse lentamente (la productividad es baja), por lo que el enfriamiento natural de la pieza en la matriz será suficiente.

45 (iii) Las presiones y tiempos de mantenimiento de la pieza formada en las matrices son menores debido al menor cambio de temperatura requerido, lo que disminuye el uso de energía y aumenta la productividad.

(iv) Dado que el efecto de endurecimiento por deformación es mayor a temperaturas más bajas, las piezas pueden formarse a menor velocidad que en el proceso HFQ (RTM) existente. Por lo tanto, se pueden utilizar prensas mecánicas estándar para el conformado.

50 (v) Esta menor velocidad de conformación puede reducir la carga de impacto en las matrices, aumentando su vida útil.

(vi) El mayor efecto de endurecimiento por deformación a temperaturas más bajas puede conducir a una mayor capacidad de tracción de la pieza en la matriz y, por tanto, a una mejor conformación. En combinación con las buenas ductilidades conseguidas tras el tratamiento térmico por disolución (con deformaciones reales hasta el fallo (ϵ_f) en el rango del 30% al 60%; es decir, comparables a las del acero templado), pueden formarse piezas de formas complejas, incluso a la temperatura de conformación más baja.

55 (vii) En las realizaciones en las que la pieza se enfriá de forma no uniforme en la etapa (B), la temperatura en diferentes zonas de la pieza puede variarse según sea necesario para maximizar la conformación y reducir el adelgazamiento localizado.

60 Haciendo referencia a las figuras 2(a) y 2(b), se discutirán ahora brevemente los efectos sobre las propiedades mecánicas de una pieza de trabajo de SHT (la etapa (A)) y de la etapa de enfriamiento (B).

65 Se realizaron ensayos de tracción uniaxial en una aleación de aluminio a 300°C, con y sin SHT previo. La figura 2(a) muestra los historiales de temperatura utilizados para estos ensayos. La región marcada con un círculo indica el momento en que se deformó la muestra. La figura 2(b) muestra los resultados de los ensayos de tracción uniaxial de la aleación con las condiciones de ensayo indicadas en la figura 2(a). Por lo tanto, muestra una comparación del

comportamiento mecánico de la aleación con y sin SHT. También muestra los resultados de los ensayos de la aleación a 450°C con SHT previo (el proceso HFQ (RTM) convencional).

5 El comportamiento de la deformación del material ensayado hasta el fallo a diferentes temperaturas se comparó con la deformación del material cuando se ensayó tras un enfriamiento rápido desde la temperatura SHT hasta las mismas temperaturas. Esto revelaría los beneficios del SHT previo a las propiedades mecánicas. Los ensayos se realizaron a una velocidad de deformación de 1/s, con la dirección de laminación paralela a la dirección de carga. También se comparan los resultados de un ensayo realizado en condiciones HFQ (RTM), suponiendo que tras el tratamiento térmico por disolución (a la temperatura SHT) y la transferencia al conjunto de matrices en frío, la temperatura de la pieza antes de la deformación es de 450°C. Esto revelaría las ventajas de introducir la etapa de enfriamiento en el proceso HFQ (RTM) convencional.

10

15 En la figura 2 (b) se puede observar que la ductilidad de una pieza con SHT previo es mayor que cuando no hay SHT previo. Alcanza un nivel suficiente para la conformación de características complejas. La deformación a 300°C con SHT previo aumentó la ductilidad en aproximadamente un 80%. En comparación con las condiciones HFQ (RTM), el endurecimiento por deformación aumentó. Asumiendo una representación de ley de potencia de los datos, se encontró que el exponente de endurecimiento por deformación (valor n) aumentó de 0,04 a 0,12. También se observa que la tensión de flujo es mucho mayor en comparación con las condiciones HFQ (RTM). La resistencia a la tracción bajo deformación a 300°C es más de dos veces mayor que la obtenida en condiciones HFQ (RTM). Por lo tanto, se puede observar que la etapa de enfriamiento mejora el endurecimiento por deformación y la resistencia, al tiempo que se mantiene una ductilidad suficiente para el conformado de piezas de formas complejas, mejorando así la conformación de la lámina metálica. Como también puede verse en los resultados mostrados en la Figura 2(b), al comparar las curvas de tensión de flujo de 300°C con SHT y 450°C con SHT, el efecto de endurecimiento por deformación es más pronunciado a 300°C. Por lo tanto, si se forma una pieza a 300°C, la distribución del espesor en la pieza será más uniforme que para una pieza formada a 450°C.

20

25

[Etapa (B) - alternativas]

30 Con referencia una vez más a la figura 3, en casos alternativos la etapa de enfriamiento (B) se lleva a cabo de manera diferente a la descrita anteriormente. En otros aspectos, el proceso puede ser el mismo que el del primer caso. A continuación, se describirán estos casos alternativos.

[Enfriamiento uniforme alternativo por pulverización de niebla]

35 En un caso alternativo, la pieza no se coloca sobre una superficie en una estación de enfriamiento, sino que se enfriá mediante una niebla de aire y agua (como se ha descrito anteriormente) mientras se mantiene en las pinzas durante el traslado desde el horno a las matrices. En otro caso, la pieza sigue siendo enfriada por una niebla de aire y agua una vez que ha sido transferida a las matrices. Esto se consigue mediante boquillas integradas en el juego de matrices que, como se ha descrito anteriormente, liberan agua a presión en forma de un fino rociado. En otros casos, la pieza sólo se enfriá una vez que ha sido transferida a las matrices. En algunos casos en los que la pieza se enfriá una vez transferida a las matrices, la niebla de aire y agua se utiliza para enfriar y limpiar las matrices.

40

[Enfriamiento uniforme por corriente de aire]

45 En otras realizaciones, la pieza se enfriá mediante una corriente de aire controlada procedente de un conjunto de sopladores. En algunas realizaciones, esto se lleva a cabo en una estación de enfriamiento entre el horno y las matrices, en la que la pieza se coloca en una superficie y se enfriá por la corriente de aire. En otras, se enfriá mientras se transfiere entre el horno y las matrices, mientras se mantiene en las pinzas utilizadas para transferirla.

[Enfriamiento uniforme mediante placas conductoras]

50 En referencia a la figura 6, en otros casos la pieza (52) se enfriá mediante placas conductoras en forma de un bloque de enfriamiento superior (63) y un bloque de enfriamiento inferior (65). Al igual que en los casos en los que la pieza se enfriá mediante una niebla de aire y agua o mediante sopladores de aire, la pieza puede enfriarse mediante placas conductoras bien en una estación de enfriamiento en una línea de producción entre el horno y las matrices, o bien durante la transferencia entre el horno y las matrices. En ambos casos, la pieza se mantiene entre las placas conductoras y se aplica una presión uniforme hasta que se enfriá a la temperatura deseada.

55 En este caso alternativo, la pieza (52) se enfriá en una estación de enfriamiento (60) en una línea de producción (no mostrada) entre el horno y las matrices (también no mostrada). Un robot de colocación (61) recoge la pieza de trabajo (52) después de que se haya realizado la etapa (A) (tratamiento térmico por disolución de la pieza de trabajo). El robot de colocación (61) deposita la pieza (52) en un transportador de carga (64). El transportador de carga (64) hace rodar la pieza (52) sobre los rodillos (69) del bloque de enfriamiento inferior (65). Estos rodillos (69) son retráctiles, y una vez que la pieza (52) está colocada debajo del bloque de enfriamiento superior (63), los rodillos (69) se retraen. El bloque de enfriamiento superior (63) se baja entonces sobre la pieza (52). La presión aplicada por el bloque de

60

65

enfriamiento superior (63) se regula mediante una unidad de control de presión (66). En general, cuanto mayor sea la presión aplicada, más rápida será la velocidad de enfriamiento de la pieza (52). El enfriamiento entre bloques de enfriamiento bajo carga permite una velocidad de enfriamiento de más de 500°C por segundo. Por lo tanto, en esta realización, el tiempo de enfriamiento entre los bloques (63), (65) es inferior a 0,5s. Sin embargo, también se puede lograr un enfriamiento aún más rápido. Por ejemplo, un tiempo de enfriamiento de 0,1s es posible con este aparato.

En otro caso alternativo, la temperatura de la pieza (52) se controla con termopares (no mostrados), de la misma manera que en el caso descrito en relación con la figura 5. La unidad de control de la presión (66) en este caso alternativo funciona de manera similar a la unidad de control del flujo (54) descrita anteriormente. En concreto, la unidad de control de la presión (54) compara las temperaturas medidas por los termopares (53) con las temperaturas de referencia. La unidad de control de la presión (54) aumenta la presión aplicada a la pieza (52) por el bloque de enfriamiento superior (63) cuando las temperaturas medidas por los termopares (53) disminuyen a un ritmo inferior a las temperaturas de referencia. A la inversa, la unidad de control de la presión (54) disminuye la presión aplicada a la pieza (52) por el bloque de enfriamiento superior (63) cuando las temperaturas medidas por los termopares (53) disminuyen a un ritmo superior a las temperaturas de referencia. El tiempo de aplicación de la presión por el bloque de enfriamiento superior también es controlado por la unidad de control de flujo (54) en función de las temperaturas medidas por los termopares (53). Cuando las temperaturas medidas indican que la pieza (52) se ha enfriado a la temperatura deseada - en este caso cuando la pieza (52) se ha enfriado uniformemente a 300°C - la unidad de control de la presión (56) hace que el bloque de enfriamiento superior (63) se levante de la pieza (52).

En los dos casos alternativos que se acaban de describir, después de que la pieza (52) se haya enfriado durante un período de tiempo determinado (o, en el segundo caso, a una temperatura determinada), el bloque de enfriamiento superior (63) se levanta de la pieza (52). Los rodillos (69) del bloque de enfriamiento inferior (65) se vuelven a extender y hacen rodar la pieza (52) hacia el transportador de descarga (67). El transportador de descarga (67) posiciona la pieza (52) de manera que pueda ser levantada por el robot de transferencia (68). El robot de transferencia (68) transfiere la pieza (52) a las matrices (no mostradas) para la etapa (C).

[Enfriamiento en una placa de vacío]

Con referencia ahora a la figura 4, se describirá ahora otro caso alternativo en el que la pieza de trabajo (52) se enfriará mediante placas conductoras. La figura 4 muestra una pieza de trabajo (52) sobre una placa (41) con una alta conductividad térmica. La placa (41) está conectada mediante una canalización (44) en el lateral de la placa (41) a una unidad de vacío (no mostrada). La canalización (44) se conecta a los conductos (43) que tienen aberturas en la superficie de la placa (41) sobre la que se coloca la pieza (52) durante el enfriamiento. En un caso, esta placa (41) sustituye al bloque de enfriamiento inferior (65) del caso descrito anteriormente con referencia a la figura 6. En este caso, la pieza (52) se coloca sobre la placa (41).

El bloque de enfriamiento superior (63) se baja sobre la pieza (52). Se crea un vacío en los conductos (43). Esto aspira la pieza (52) sobre la placa (41). De este modo, aumenta la presión que experimenta la pieza (52). El vacío también aumenta el flujo de aire alrededor de la pieza (52), lo que aumenta la velocidad de enfriamiento. Una vez que la pieza (52) se ha enfriado a una temperatura determinada, medida por los termopares (en este caso 300°C) o se ha enfriado durante un tiempo determinado (cuando no hay termopares), se deja de aplicar el vacío y el proceso continúa como se ha descrito anteriormente con referencia a las figuras 6 y 3.

En otro caso alternativo, la pieza se enfriará en la placa (41) de alta conductividad térmica, como se ha descrito anteriormente. Una tira bimetálica (no mostrada en la figura 4) levanta la pieza (52) de la placa (41) cuando la pieza alcanza una temperatura definida. Por lo tanto, en este caso alternativo, la etapa de enfriamiento es terminada por la tira bimetálica, sin necesidad de una unidad de control o intervención humana. Una tira bimetálica también puede utilizarse para elevar la pieza de trabajo (52) lejos de un bloque de enfriamiento inferior (o placa con alta conductividad térmica) cuando ese bloque no está dispuesto para tener un vacío a través de él.

[Enfriamiento no uniforme]

En una realización, las zonas de la pieza de trabajo donde se requerirá un mayor efecto de endurecimiento por deformación para formar la pieza se enfrián a una temperatura más baja que el resto de la pieza de trabajo ("enfriamiento no uniforme"). En algunas realizaciones de "enfriamiento no uniforme", las zonas que se enfrián selectivamente se determinan por la geometría de la pieza que se va a formar a partir de la misma. Por ejemplo, la temperatura de una zona de la pieza que se va a formar para tener características pequeñas, que requieren un estiramiento significativo del material, se seleccionará para que sea ligeramente más baja que la temperatura de otras zonas de la pieza, de modo que, durante el conformado, pueda tener lugar el arrastre de material para reducir el adelgazamiento localizado. En otras palabras, la aplicación de una temperatura no uniforme en la pieza se utiliza para obtener un control adicional sobre el movimiento del material en la matriz.

En otras realizaciones de "enfriamiento no uniforme", las zonas que se enfrián selectivamente se determinan en función de las fuerzas que se prevé que experimente esa pieza durante su uso. Por ejemplo, las zonas que deben

soportar altas tensiones con una ductilidad relativamente baja se enfriarían a un ritmo rápido, por otro lado, las zonas que deben tener una buena ductilidad con tensiones de fluencia más bajas pueden enfriarse a un ritmo menor.

- 5 En otras realizaciones de "enfriamiento no uniforme", la pieza se enfriá de manera que su temperatura al final de la etapa de enfriamiento (B) varía suavemente entre las regiones de la pieza. En otras palabras, la pieza enfriada tiene múltiples gradientes de temperatura a través de ella. Esto produce varias regiones de temperatura distintas en la pieza. El enfriamiento se controla de este modo, por ejemplo, para proporcionar una resistencia graduada en la pieza. Cuando la pieza de trabajo es para una pieza de automóvil, dicho enfriamiento puede proporcionar un fallo controlado de la pieza en condiciones de choque.
- 10 10 En otras realizaciones de "enfriamiento no uniforme", cuando la pieza de trabajo tiene más de un grosor de material - por ejemplo, cuando la pieza de trabajo es una pieza en bruto soldada a medida (es decir, una pieza de trabajo formada por dos o más láminas soldadas entre sí), las zonas más delgadas de la pieza de trabajo se enfrián a una temperatura más baja que las zonas más gruesas de la pieza de trabajo. Esto facilita la deformación de las zonas más gruesas, reduciendo así la tensión en las secciones finas. De este modo, la deformación se distribuye más uniformemente entre el material grueso y el fino, y se reduce el adelgazamiento máximo en una zona crítica.
- 15 15

[Enfriamiento no uniforme por placas conductoras]

- 20 20 En una realización de "enfriamiento no uniforme", la pieza se enfriá mediante enfriamiento conductivo de forma similar a la realización de "enfriamiento uniforme" descrita anteriormente en relación con la figura 6. Es decir, se enfriá entre los bloques de enfriamiento superior e inferior en una estación de enfriamiento en una línea de producción entre el horno y las matrices. En esta realización, sin embargo, el bloque de enfriamiento superior se modifica de manera que el enfriamiento a diferentes temperaturas en diferentes zonas de la pieza se logra mediante el aumento de la presión del bloque en la pieza en las zonas donde la pieza debe ser enfriada a una temperatura más baja. El bloque de enfriamiento superior en esta realización tiene zonas en relieve que corresponden a las zonas de la pieza de trabajo donde se requiere una mayor proporción de enfriamiento. Cuando el bloque de enfriamiento superior se aplica a la pieza de trabajo, la presión de estas zonas en relieve sobre la pieza de trabajo es mayor que la presión de las zonas sin relieve. De este modo, la pieza se enfriá a un ritmo mayor donde está en contacto con las zonas con relieve que en la región de las zonas sin relieve.
- 25 25

- 30 30 En otra realización de "enfriamiento no uniforme", la pieza de trabajo también se enfriá por enfriamiento conductivo de manera similar a la realización de "enfriamiento uniforme" descrita anteriormente en relación con la figura 6. En esta realización, sin embargo, el bloque de enfriamiento superior se modifica de manera que sólo se aplica a aquellas zonas de la pieza que deben ser enfriadas a una temperatura inferior.
- 35 35

- 40 40 En otra realización de "enfriamiento no uniforme", la pieza se enfriá también por enfriamiento conductivo de manera similar a la realización de "enfriamiento uniforme" descrita anteriormente en relación con la figura 6, pero el bloque de enfriamiento superior está hecho de materiales con diferentes conductividades térmicas. En las zonas del bloque de enfriamiento superior correspondientes a las zonas de la pieza que deben enfriarse a una velocidad mayor que otras zonas de la pieza, el bloque de enfriamiento superior está hecho de un material que tiene una conductividad térmica más alta que las otras zonas del bloque de enfriamiento. En las zonas del bloque de enfriamiento superior que corresponden a zonas de la pieza que deben enfriarse a una velocidad menor, el bloque de enfriamiento superior está formado por un material con una conductividad térmica menor.
- 45 45

- 50 50 En una variación de cada una de las realizaciones descritas anteriormente, el bloque de enfriamiento inferior se modifica en cambio como se ha descrito anteriormente en relación con el bloque de enfriamiento superior. El bloque de enfriamiento superior en estas variaciones como el descrito en relación con la figura 6.

- 55 55 En otras realizaciones de "enfriamiento no uniforme", la pieza se enfriá en una placa (41) a través de la cual se crea un vacío, como se muestra en la figura 4, con el bloque de enfriamiento superior (no mostrado) modificado en cualquiera de las formas descritas anteriormente.

- 60 60 En otra realización de "enfriamiento no uniforme", la pieza se enfriá en una placa (41) a través de la cual se crea un vacío, como se muestra en la figura 4, y el vacío se utiliza para crear diferentes presiones manométricas negativas en la pieza en diferentes zonas de esta. Es decir, el nivel de vacío se incrementa a través de los conductos (43) situados debajo de las zonas de la pieza (52) que se van a enfriar a un ritmo mayor que el resto de la pieza. Esto aumenta la fuerza con la que esas zonas se mantienen contra la placa (41) y, por tanto, aumenta el ritmo de enfriamiento de esas zonas. El vacío es más débil a través de los conductos (43) situados debajo de las zonas de la pieza (52) que deben ser enfriadas a un ritmo menor.

65 65 El "enfriamiento no uniforme" mediante placas conductoras, como se ha descrito anteriormente, se lleva a cabo, en otras realizaciones, mientras la pieza se mantiene en las mordazas durante la transferencia entre el horno y las matrices (en lugar de en una estación de enfriamiento).

[Enfriamiento no uniforme por pulverización de niebla]

- De manera similar al enfriamiento uniforme de la pieza utilizando una niebla de aire y agua, descrito anteriormente en relación con la figura 5, el conjunto (51) de boquillas que liberan agua a presión en forma de spray se utiliza, en una 5 realización alternativa, para lograr un enfriamiento no uniforme. En esta realización alternativa, la unidad de control de flujo (54) hace que sólo las boquillas en la región de las zonas de la pieza de trabajo que deben ser enfriadas a una velocidad más alta liberen corrientes de aire y agua pulverizada. Esto enfriá esas zonas de la pieza más rápidamente y a una temperatura más baja que las zonas de la pieza a las que las boquillas no dirigen el aire y el agua pulverizada.
- 10 Alternativa o adicionalmente, en otra realización, la unidad de control de flujo (54) controla el flujo másico del aire y del agua pulverizada de cada una de las boquillas, de manera que las boquillas situadas en la región de las zonas de la pieza de trabajo que deben ser enfriadas más rápidamente liberan aire y agua pulverizada a un flujo másico mayor que las boquillas situadas en otras zonas. Del mismo modo, la unidad de control de flujo (54) en esa otra realización, 15 controla las boquillas en la región de las zonas de la pieza de trabajo que deben ser enfriadas a una temperatura más baja para liberar aire y agua pulverizada durante un tiempo más largo que las boquillas en otras regiones de la pieza de trabajo.

REIVINDICACIONES

1. Un método de conformación de una pieza a partir de una lámina de aleación de aluminio 6XXX o 7XXX, que comprende las etapas secuenciales de:

- 5 a) calentar la lámina a una temperatura a la que se produce el tratamiento térmico en solución de la aleación y de forma que se consiga el tratamiento térmico de solución;
- 10 b) medir la temperatura de la lámina en una o más posiciones de la lámina y controlar la velocidad de enfriamiento de la lámina basándose en la temperatura medida en una o más posiciones, en la que la velocidad de enfriamiento se controla para que sea igual o superior a el índice de enfriamiento crítico de la aleación y al menos igual o superior a la velocidad a la que se evita la precipitación microestructural en la aleación hasta que se alcance una temperatura objetivo en donde al menos una primera zona de la lámina se enfriá selectivamente a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfriá al menos una segunda zona de la lámina, en donde la temperatura objetivo es de 50°C a menos de 450°C y en donde el enfriamiento de la lámina tiene lugar en una estación de enfriamiento y la estación de enfriamiento forma parte de un aparato dispuesto para transferir la lámina a las matrices; y entonces
- 15 c) colocar la lámina entre las matrices para darle forma a la pieza compleja o hacia ella.
- 20 2. El método de la reivindicación 1, en el que la temperatura objetivo es de 50°C a 350°C.
- 25 3. El método de la reivindicación 1, en el que la temperatura objetivo es de 50°C a 300°C.
- 30 4. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la lámina se enfriá a la temperatura más baja que todavía permite el conformato de la pieza.
- 35 5. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (b) comprende aplicar un medio de enfriamiento a la lámina, en el que el medio de enfriamiento es un sólido o un fluido.
- 40 6. El método de la reivindicación 5, en el que la etapa (b) comprende enfriar selectivamente al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfriá al menos una segunda zona de la lámina aplicando un medio de enfriamiento sólido con mayor presión a la primera zona que a la segunda.
- 45 7. El método de la reivindicación 5 o de la reivindicación 6, en el que la etapa (b) comprende enfriar selectivamente al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfriá al menos una segunda zona de la lámina aplicando un medio de enfriamiento sólido a la primera zona y no a la segunda zona.
- 50 8. El método de la reivindicación 5, en el que la etapa (b) comprende enfriar selectivamente al menos una primera zona de la lámina a una primera temperatura que es inferior a una segunda temperatura a la que se enfriá al menos una segunda zona de la lámina dirigiendo el fluido a la primera zona de la lámina con una duración más larga, una temperatura más baja y/o un mayor flujo de masa que a la segunda zona.
- 55 9. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (a) comprende calentar la lámina hasta al menos la temperatura a la que se disuelven los precipitados en la aleación.
- 60 10. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que la etapa (a) comprende calentar la lámina por encima de su temperatura de tratamiento térmico de solución y mantenerla a esta temperatura durante al menos 15 segundos.
- 50 11. El método de cualquier reivindicación anterior, en el que las matrices se enfrián.
- 55 12. El método de la reivindicación 10, en el que la lámina es de una aleación de aluminio AA7XXX, y la etapa (a) comprende calentar la lámina a una temperatura entre 460°C y 520°C.
- 60 13. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5, 6 o 7, en el que la etapa (b) comprende aplicar una carga al sólido para aumentar la presión del sólido sobre la lámina.
- 60 14. El método de cualquiera de las reivindicaciones 5, 6, 7 o 13, comprendiendo el sólido una superficie dispuesta para estar en contacto con la lámina, estando al menos una primera zona de dicha superficie en relieve respecto a al menos una segunda zona.

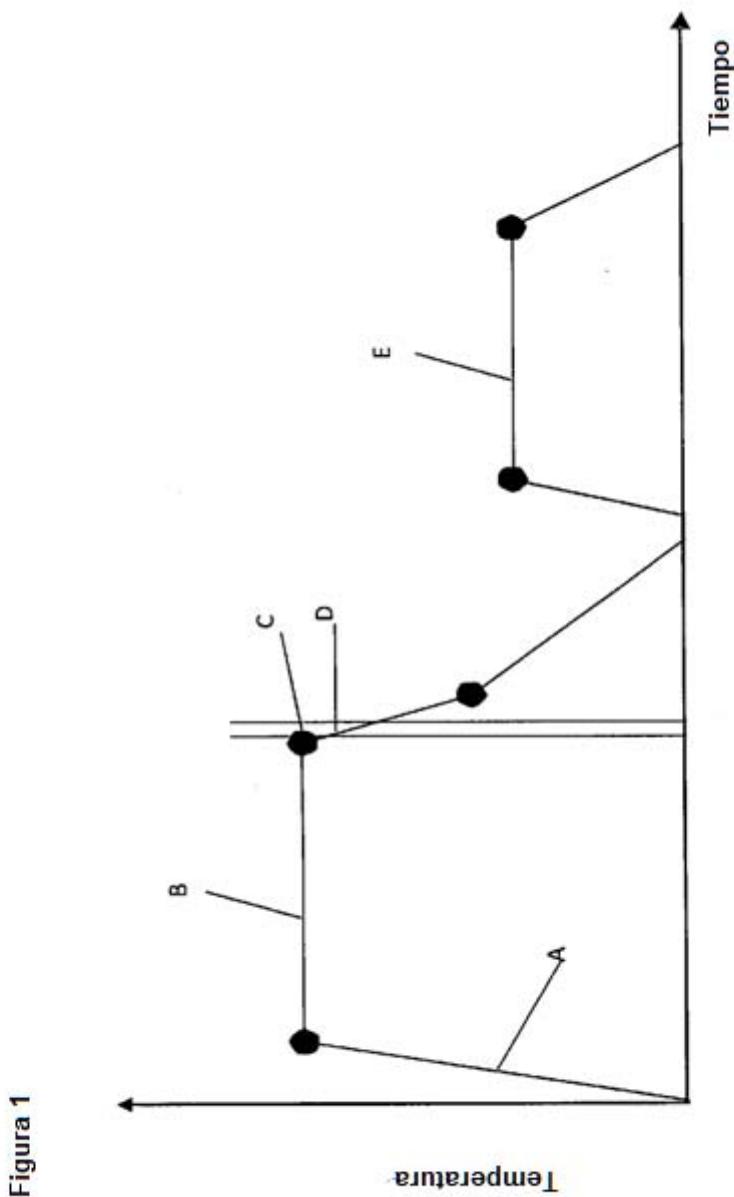


Figura 1

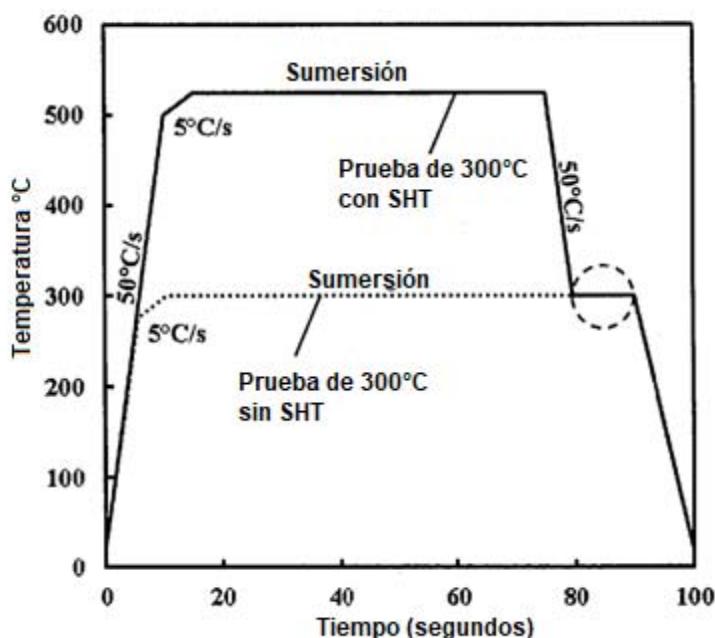


Figura 2 (a)

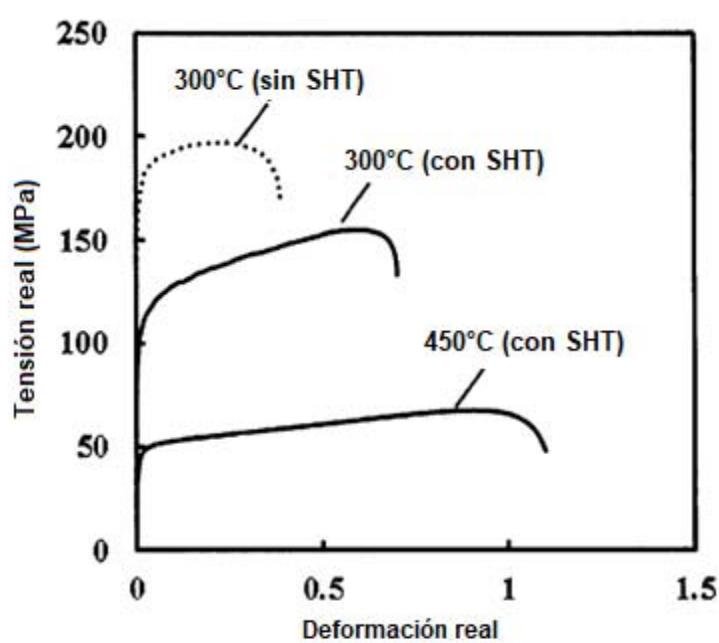


Figura 2 (b)

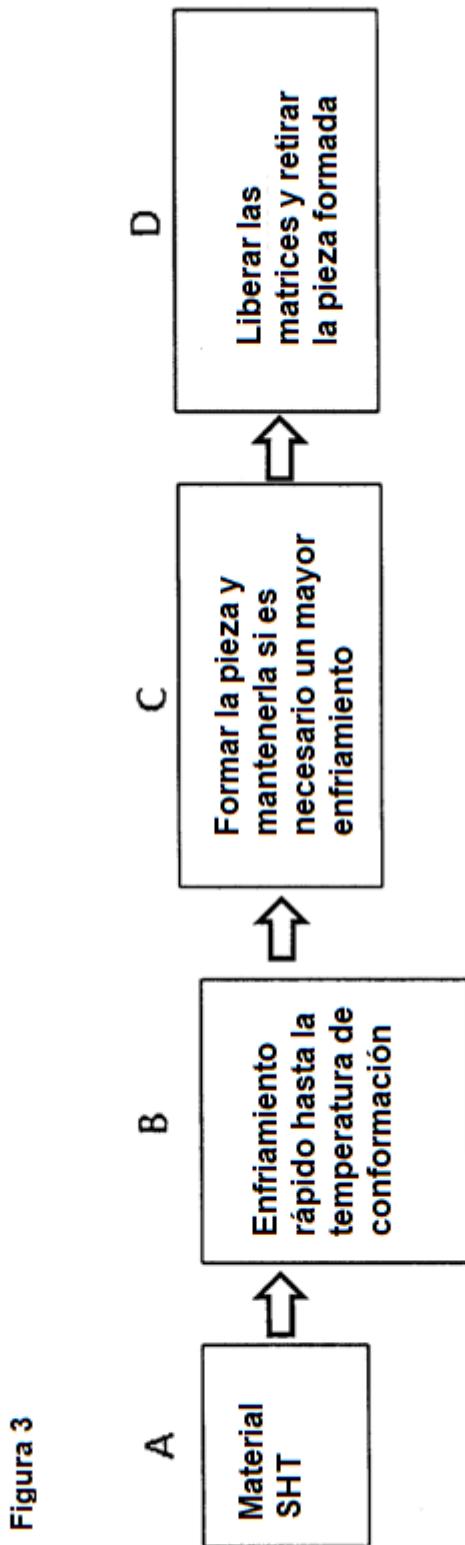


Figura 3

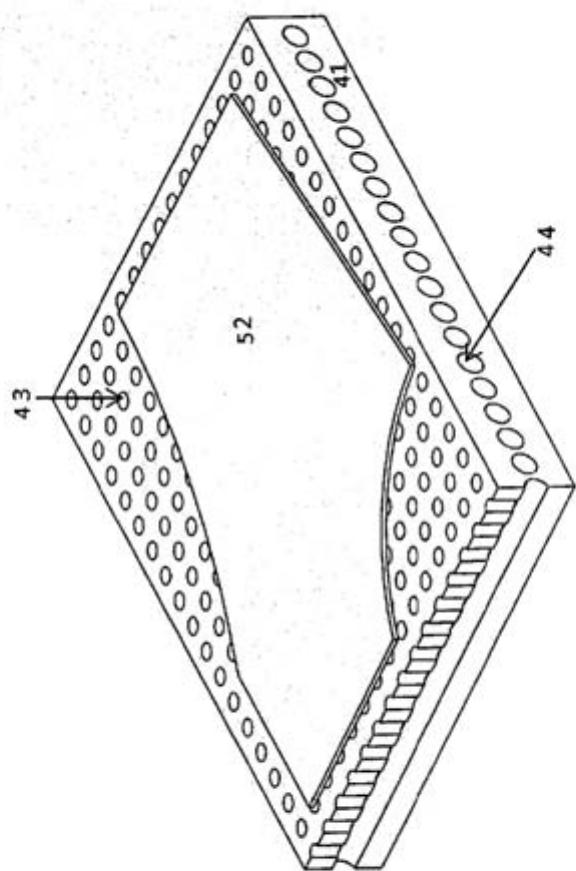


Figura 4

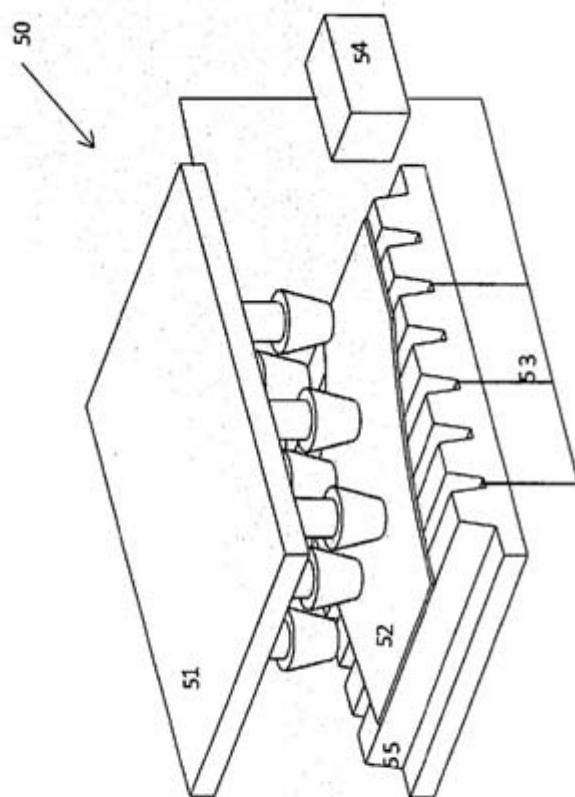


Figura 5

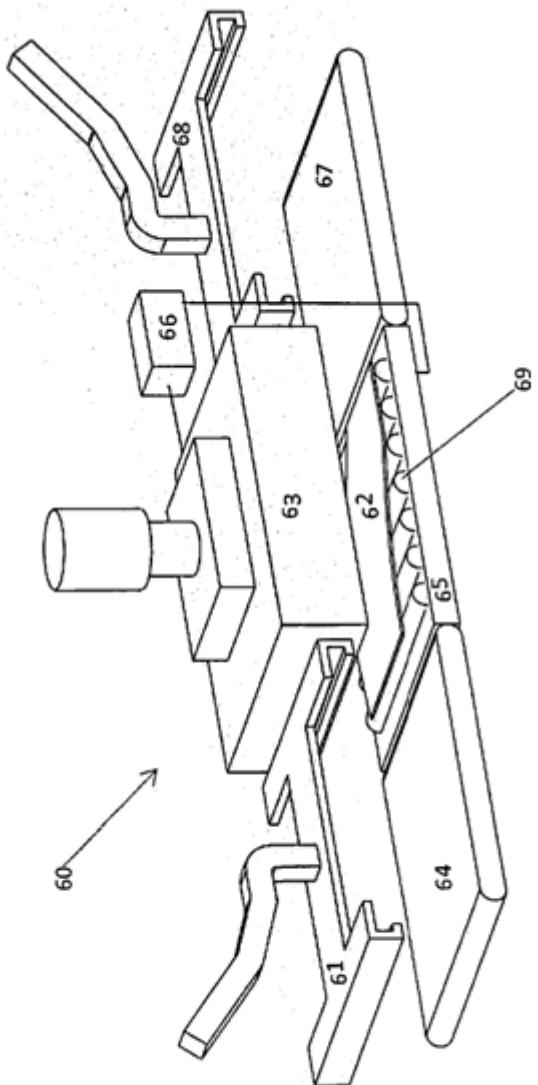


Figura 6