

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 760**

51 Int. Cl.:

G05B 19/4093 (2006.01)

G05B 13/02 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **15.10.2014** **E 14189099 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **19.04.2017** **EP 3009898**

54 Título: **Método controlado automáticamente para forjar una pieza de trabajo**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
14.08.2017

73 Titular/es:

VEA S.R.L. (100.0%)
Via Fratelli Rosselli 43
20010 Canergrate, MI, IT

72 Inventor/es:

ROSI, FABIO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 629 760 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 controlado automáticamente para forjar una pieza de trabajo

Campo de la invención

5 La presente invención se refiere a un método controlado automáticamente para forjar una pieza inicial en una pieza final mediante la utilización de un sistema gradual de forja de matriz abierta.

Técnica relacionada

10 Tal como se conoce en general en la técnica, un sistema gradual de forja de matriz abierta permite forjar una pieza inicial caliente que sale de un horno mediante el control de un manipulador y una prensa o un martillo. Las piezas iniciales a forjar tienen habitualmente una forma alargada, tal como las de fabricación de ejes de ferrocarril, y son sujetadas por el manipulador para ser alimentadas y hechas girar bajo la prensa.

En la forja gradual de matriz abierta, la pieza de trabajo caliente entra en una prensa con matrices denominadas "dentadas", y es parcialmente presionada en cada acción de la prensa y desplazada por el manipulador para asumir las dimensiones preestablecidas en las diversas porciones en las que es trabajada.

15 En un proceso de forja controlado manualmente, la pieza es girada y desplazada por el manipulador, que es controlado por el operario mediante mediciones manuales bidimensionales. En concreto, durante los ciclos de trabajo, el operario, en tiempo real y mediante la utilización de referencias mecánicas y ópticas, define las acciones más adecuadas para obtener las dimensiones preestablecidas en las diversas zonas trabajadas de la pieza de trabajo.

20 Aunque el proceso de forja controlado manualmente proporciona resultados satisfactorios en ciertos aspectos, todavía presenta algunos inconvenientes.

Los operarios deben tener una buena experiencia en las técnicas de forja, para prepararse para las siguientes acciones de prensado o avance en tiempos muy cortos y, por lo tanto, la calidad de la pieza terminada depende en gran medida de la habilidad y la experiencia de cada operario.

25 El control manual del manipulador y de la prensa puede llevar a piezas terminadas con cierta imprecisión dimensional.

30 Es necesario que el operario obtenga las dimensiones de cada porción durante el ciclo de trabajo en una situación difícil, debido tanto al corto espacio de tiempo que se le permite, de 1 a 3 segundos, como a los medios disponibles, que a menudo consisten en objetivos ópticos. Para evitar el error de crear porciones o zonas de tamaño insuficiente, que podrían afectar irreversiblemente a la calidad de la pieza terminada, el operario realiza un control para mantener un sobredimensionamiento en comparación con las dimensiones requeridas. Debido a que las zonas de tamaño menor del requerido no pueden ser recuperadas mediante un proceso posterior, al final la pieza de trabajo debe ser descartada, aumentando con ello los costes de fabricación.

35 Sin embargo, el sobredimensionamiento lleva a excesivas cantidades de metal, que implican una carga económica en términos de aumento de tiempo y de costes, debido tanto al uso del exceso de material como a etapas posteriores adicionales, por ejemplo, una etapa de giro, necesaria para reducir la pieza terminada a las dimensiones requeridas preestablecidas.

Otro inconveniente es que el trabajo en caliente de las piezas y la necesidad de diversas correcciones pueden conducir a tensiones por torsión sobre el material, lo que al final incrementaría la probabilidad de agrietamiento.

40 El control semiautomático del proceso de forja, que tiene algunas etapas de operación con acciones fijas y automatizadas, permite la ejecución de ciclos programados de acciones repetitivas durante el proceso de forja. Sin embargo, los ciclos de acciones repetitivas no tienen plenamente en cuenta las características y las deformaciones específicas de la pieza de trabajo durante la forja, que son específicas y dependen de algunos parámetros imprevisibles, por ejemplo, cambios en la materia prima, la forma de la pieza de trabajo obtenida después de una etapa de forja, la temperatura de la pieza de trabajo, la temperatura ambiente y otros parámetros.

45 Por lo tanto, los sistemas semiautomáticos requieren aún la presencia de un operario que realice cambios en los parámetros del sistema durante las etapas de trabajo mediante una evaluación manual y en tiempo real del proceso de trabajo. Las piezas obtenidas pueden presentar los inconvenientes antes mencionados, a saber, la provisión de excesivas cantidades de metal para evitar la formación de zonas de tamaño insuficiente y/o la necesidad de descartar la pieza final, cuando se considera que tiene dimensiones finales fuera de una tolerancia aceptada.

50 La publicación "Closed-loop control of product properties in metal forming: A review and prospectus", por J. A. Polyblank, J. M. Allwood, S.R. Duncan, Journal of Materials Processing Technology, se dirige a motivar una nueva

ola de interés en la aplicación del control en bucle cerrado de las propiedades del producto a los procesos de formación de metales. Se desarrolla un nuevo marco de trabajo para mostrar procesos de conformado del metal en el corazón de un bucle de control externo y se revisan las aplicaciones existentes. Las evaluaciones de los sensores, accionadores y técnicas de modelado revelan una rica variedad de oportunidades para nuevos desarrollos.

- 5 El solicitante ha entendido que es posible un método de control completamente automático si las etapas de operación del proceso de forja son adaptables a las condiciones reales de la pieza de trabajo que se está conformando.

Compendio de la invención

10 En términos generales, la presente invención proporciona un control automático de un sistema de forja de matriz abierta que comprende una serie de accionadores para forjar una pieza inicial en una pieza terminada, tal como un manipulador y una prensa, donde el control se realiza a lo largo del proceso de forja para transformar la forma y, por lo tanto, las dimensiones, de una pieza inicial para forjarla en una forma y, por lo tanto, en las dimensiones, de una pieza terminada. A lo largo de la presente descripción y reivindicaciones, con "pieza inicial" se entiende una pieza de material no trabajada, es decir, antes de ser sometida a cualquier proceso de trabajo que cambie su forma.

15 Generalmente, la pieza inicial tiene una forma geométrica simple, típicamente una forma cilíndrica, aunque no se excluyen otras formas, tales como un paralelepípedo. La pieza de material que se está procesando se indica en la presente memoria con "pieza de trabajo", mientras que el objeto o pieza obtenida después de completar el proceso de forja se denomina "pieza final", "pieza trabajada" o "pieza terminada". Se entiende que la "pieza inicial" es una "pieza de trabajo" concreta en una situación inicial, es decir, antes de cualquier procesamiento.

20 El proceso de forja comprende, por lo menos, una secuencia de etapas de operación que comprende una secuencia de etapas de forja. En algunas realizaciones preferentes, el proceso de forja se define como una serie de secuencias de etapas de operación, en las que cada secuencia de etapas incluye etapas de forja que modifican, por lo menos parcialmente, la pieza de trabajo, por ejemplo, por deformación y/o desplazamiento de material. De manera más general, el proceso de forja puede definirse por una serie de etapas de operación que comprenden una serie de etapas de forja, que comprenden una primera y una última etapa de forja, empezando la primera etapa de forja a partir de una pieza inicial, y produciendo la última etapa de forja la pieza terminada con una forma final, en la que cada etapa de forja modifica, por lo menos parcialmente, la forma de la pieza de trabajo en una forma intermedia, que está dirigida a conseguir la forma final. Típicamente, pero no exclusivamente, la serie de etapas de forja en una secuencia de operaciones es una sub-serie de la serie de etapas de operación.

30 En las realizaciones preferentes, el sistema de forja de matriz abierta comprende una serie de accionadores, comprendiendo la serie de accionadores una prensa de forja y un manipulador. Cada etapa de forja comprende ejecutar, por lo menos, una acción de la prensa de la prensa para cambiar la forma de la pieza de trabajo. A modo de ejemplo, la acción de prensado puede ser un alargamiento de una sección longitudinal de la pieza de trabajo, estirando la sección longitudinal hacia abajo hasta un tamaño predeterminado o un punzonado para formar un rebaje en forma de escalón en una posición longitudinal a lo largo de la pieza de trabajo. En general, la acción combinada de la prensa de forja y del manipulador de acuerdo con la forma de las matrices permite generar piezas de diferentes formas.

35

40 De acuerdo con la presente descripción, se proporciona un método controlado automáticamente para forjar una pieza inicial para producir una porción longitudinal de una pieza final que tiene una forma final definida por dimensiones finales, utilizando un sistema de forja de matriz abierta que comprende una serie de accionadores que comprenden una prensa de forja y un manipulador, en el que la prensa comprende una matriz, comprendiendo el método:

45 (a) proporcionar un módulo de inteligencia artificial (AIM – Artificial Intelligence Module, en inglés) conectado de manera lógica a la serie de accionadores, y configurado para recibir y transmitir señales de control a los accionadores, en el que el AIM está configurado para generar un modelado adaptativo por medio de algoritmos informáticos de inteligencia artificial que utilizan reglas de aprendizaje que conducen a una forma final de la pieza final;

50 (b) obtener, el AIM, datos de entrada de referencia que comprenden los datos dimensionales de la pieza que describen la pieza final con una forma final definida por las dimensiones finales, y los datos dimensionales de la matriz que describen la geometría y dimensiones de la matriz;

55 (c) definir, el AIM, un proceso de forja como una serie de secuencias de operaciones que comprenden una primera secuencia de operaciones para obtener una primera porción longitudinal de la pieza final, comprendiendo la primera secuencia de operaciones una serie de etapas de operación, donde la serie de etapas de operación comprende una serie de etapas de forja que comprenden una primera etapa de forja que modifica la forma de la pieza inicial y una última etapa de forja, comprendiendo cada etapa de forja, por lo menos, una acción de prensado para modificar la forma de la pieza de trabajo que se está forjando;

(d) obtener, el AIM, datos dimensionales de la pieza inicial que describen la pieza inicial con una forma inicial con dimensiones iniciales;

5 (e) inicializar, utilizando el AIM, una primera secuencia de operaciones, y generar un primer modelo intermedio de ejecución, para una primera etapa de forja, en el que la generación del primer modelo intermedio de ejecución comprende la utilización de los algoritmos informáticos adaptativos para procesar de manera adaptativa los datos de entrada de referencia y los datos dimensionales de la pieza inicial para producir un modelo tridimensional que define una primera forma intermedia de la pieza de trabajo que se va a forjar mediante la primera etapa de forja, y para calcular los primeros datos de salida para obtener la primera forma intermedia;

10 (f) ejecutar, utilizando el AIM, el primer modelo intermedio de ejecución accionando, por lo menos, la prensa para realizar la primera etapa de forja;

15 (g) detectar las dimensiones reales de la pieza de trabajo al final de la primera etapa de forja mediante la utilización de una serie de detectores de radiación que producen señales eléctricas de salida, generando un mapa dimensional de la pieza de trabajo basado en las señales eléctricas de salida de la serie de detectores, y transmitiendo el mapa dimensional de la pieza de trabajo al AIM;

20 (h) generar, utilizando el AIM, un segundo modelo intermedio de ejecución para una segunda etapa de forja, en el que la generación del segundo modelo intermedio de ejecución comprende utilizar los algoritmos informáticos adaptativos para procesar de manera adaptativa el mapa dimensional de la pieza detectado al final de la primera etapa de forja, y los datos de entrada de referencia para producir un modelo tridimensional que define una segunda forma intermedia de la pieza de trabajo que se va a forjar mediante la segunda etapa de forja, y calcular los datos de salida intermedios para obtener la segunda forma intermedia;

(i) ejecutar, utilizando el AIM, el segundo modelo intermedio de ejecución accionando, por lo menos, la prensa para realizar la segunda etapa de forja, y

25 (j) repetir iterativamente las etapas (g) a (i) para ejecutar secuencialmente las etapas de operación restantes de la primera secuencia de operaciones a la última etapa de forja para producir la primera porción longitudinal de la pieza final.

Preferentemente, después de la etapa (i) y antes de la etapa (j), el método comprende:

30 (k) si es necesario, ordenar, el AIM, un cambio de la cavidad de la matriz para las siguientes etapas de forja. Esta acción puede realizarse cuando la forma de la cavidad en uso no permite reducciones adicionales en el diámetro de la pieza de trabajo, o cuando la pieza de trabajo debe asumir una forma concreta que solo puede ser realizada mediante una cavidad con una conformación concreta.

En algunas realizaciones preferentes, después de la etapa (i), o (k) cuando existe, y antes de la etapa (j), el método comprende:

35 ordenar una rotación de la pieza de trabajo alrededor de su eje longitudinal para forjar una porción angular diferente de la pieza de trabajo, por ejemplo, la porción que estaba sujeta por las pinzas del manipulador en la etapa de forja anterior.

40 Preferentemente, el método es un método para forjar una pieza inicial para producir una pieza final, y la serie de secuencias de operaciones comprende, por lo menos, una segunda secuencia de operaciones para obtener una segunda porción longitudinal de la pieza final, comprendiendo la segunda secuencia de operaciones una serie de etapas de operación, en el que la serie de etapas de operación comprende una serie de etapas de forja que comprenden una etapa de forja inicial que modifica la forma de la pieza de trabajo producida por la primera secuencia de operaciones y una última etapa de forja, comprendiendo, además, el método, repetir las etapas (e) a (j) para producir la segunda porción longitudinal de la pieza final para completar el conformado de la pieza final.

45 Preferentemente, los datos de salida para cada etapa de forja comprenden la presión que ha de aplicarse mediante la prensa sobre la pieza de trabajo. La presión de forja depende principalmente del volumen y, preferentemente, de la temperatura del material a forjar en una etapa de forja para obtener la forma final de la pieza y teniendo en cuenta la forma real de la pieza de trabajo después de la etapa de operación anterior.

50 La prensa incluye una matriz superior y una matriz inferior. Preferentemente, el primer modelo intermedio de ejecución produce como salida una primera reducción de distancia $(\Delta D_z)_1$ de la distancia D_z entre la matriz superior y la matriz inferior, y el accionamiento de la prensa durante la ejecución del primer modelo de ejecución se realiza mediante el control de la distancia D_z , con el fin de reducirla en la primera reducción de distancia para obtener una distancia $(D_z)_1$.

Preferentemente, el segundo modelo intermedio de ejecución produce como salida intermedia una segunda reducción de distancia $(\Delta D_z)_2$ de la distancia $(D_z)_1$, y el accionamiento de la prensa durante la ejecución del segundo modelo intermedio de ejecución es con el fin de reducir la distancia D_z en la segunda reducción de distancia.

5 En algunas realizaciones, las etapas (f) e (i) se llevan a cabo accionando la prensa y el manipulador. Preferentemente, el primer modelo intermedio de ejecución define una primera posición del manipulador a lo largo de la dirección longitudinal principal de la pieza de trabajo con respecto a las matrices para la primera etapa de forja. Preferentemente, el segundo modo de ejecución intermedio define una segunda posición del manipulador a lo largo de la dirección longitudinal principal de la pieza de trabajo con respecto a las matrices para la segunda etapa de forja. De acuerdo con estas realizaciones, el modelo de ejecución calcula, como datos de salida para cada etapa de forja, la posición del manipulador con respecto a las matrices y la reducción en distancia de la distancia entre las matrices, que está relacionada con la reducción en altura de las dimensiones de la pieza de trabajo.

En algunas realizaciones preferentes, el AIM proporciona, como datos de salida del modelo intermedio de ejecución, el ángulo de rotación alrededor del eje longitudinal de la pieza de trabajo durante la etapa de forja.

15 El modelo intermedio de ejecución generado para una etapa de forja produce un modelo tridimensional de la forma predicha de la pieza de trabajo después de la etapa de forja y calcula los datos de salida. El modelo intermedio de ejecución es ejecutado a continuación, mediante la generación de señales de control, que ordenan las actuaciones de los accionadores de acuerdo con los parámetros de forja y espaciales preestablecidos correspondientes a los datos de salida.

20 En algunas realizaciones, el AIM proporciona como datos de salida un tiempo máximo permitido durante la etapa de forja que se va a ejecutar.

En algunas realizaciones preferentes, el AIM genera al final de cada etapa de forja un modelo intermedio de ejecución que define un modelo tridimensional que describe la forma intermedia de la pieza de trabajo que se obtiene después de la etapa de forja subsiguiente, definiendo al mismo tiempo el volumen del material a forjar, la presión aplicada al material y la reducción en altura del material.

25 Preferentemente, los datos dimensionales de pieza que describen la pieza terminada son un modelo matemático tridimensional, tal como la descripción de un dibujo tridimensional de la pieza.

30 En algunas realizaciones preferentes, la etapa de detectar la pieza de trabajo durante el procesamiento de forja comprende además generar un mapa térmico de la pieza de trabajo mediante el procesamiento de las señales de salida recibidas por los detectores de radiación, lo que permite, en ciertos casos, un control adicional del proceso de forja.

De acuerdo con algunas realizaciones de la invención, la secuencia de etapas de operación es una serie dinámica de etapas de operación, calculadas por el AIM teniendo en cuenta las características reales de la pieza de trabajo medidas durante la forja, con el fin de mejorar el tiempo de ejecución.

35 Preferentemente, la serie de detectores es una matriz de detectores de radiación infrarroja electromagnética conectados a un módulo de procesamiento visual, que está configurada para generar el mapa dimensional mediante el procesamiento de las señales recibidas de los detectores, y está conectada de manera lógica al AIM que recibe el mapa dimensional generado. Esto permite al módulo de inteligencia artificial controlar los resultados de cada etapa de la secuencia operativa.

Breve descripción de los dibujos

40 Las características y ventajas de la presente invención serán más claramente evidentes a partir de la siguiente descripción de algunas realizaciones a modo de ejemplo, haciendo referencia a los dibujos adjuntos, en los que:

- la figura 1 muestra una vista lateral de un sistema de forja adecuado para llevar a cabo el procedimiento de acuerdo con la invención;

45 - la figura 2 es una vista, en perspectiva, esquemática, de una sección de una pieza de trabajo que se va a forjar, situada entre las matrices de una prensa;

- la figura 3 es una vista desde arriba, parcial, esquemática, del sistema de la figura 1, que muestra los conos visuales de una serie de detectores de radiación;

- la figura 4 muestra tres detecciones visuales diferentes de una pieza de trabajo que se va a forjar;

- la figura 5 muestra un diagrama de bloques del sistema de control de forja, según una realización de la invención;

50 - las figuras 6a a 6c representan esquemáticamente una serie a modo de ejemplo de etapas de forja comprendidas en una secuencia de operaciones;

- la figura 7 es una vista desde arriba de un eje de tren como pieza final a modo de ejemplo fabricada mediante un método de acuerdo con la presente descripción;

- las figuras 8a a 8h muestran esquemáticamente un proceso de forja definido como una serie de secuencias de operaciones posteriores, de acuerdo con una realización de la presente invención;

- 5 - la figura 9a es una vista en sección transversal de una matriz de tres cavidades, mientras que la figura 9b es una vista en sección transversal en un plano perpendicular al de la figura 9a.

Descripción detallada

10 La figura 1 muestra un sistema 1 gradual de forja de matriz abierta que comprende, por lo menos, dos accionadores principales 2 y 3 para forjar una matriz 4 o pieza de trabajo para obtener una pieza final que tiene una forma final definida por las dimensiones finales. Las realizaciones descritas a continuación se refieren a la forja mediante prensa, en la que la pieza de trabajo, típicamente metálica, se trabaja a altas temperaturas para permitir la deformación y el desplazamiento del material del cuerpo metálico.

En las presentes realizaciones, los accionadores principales son un manipulador 2, por ejemplo, un brazo robótico o una mano de agarre motorizada de múltiples ejes y una prensa de forja 3.

- 15 A continuación, se hará referencia a un sistema de referencia cartesiano con ejes X, Y y Z, con un plano XZ denominado principal o vertical plano de forja, y un plano XY denominado plano secundario u horizontal de forja.

20 Aunque solo se representan esquemáticamente como matrices planas, las matrices superior e inferior pueden implementarse como semicarcasas que tienen características, tales como concavidades. La prensa, por ejemplo, una prensa hidráulica, se mueve hacia arriba y hacia abajo a lo largo de un eje Z, perpendicular al eje horizontal X de extensión longitudinal principal de la pieza inicial, cuando se coloca en la posición para el proceso de forja. La prensa 3 comprende una matriz superior 5a fijada al brazo móvil de la prensa, y una matriz inferior (frecuentemente fija) 5b. Mediante la aplicación de una presión, la prensa 3 deforma la pieza inicial 4 caliente mediante las matrices 5a y 5b. La figura 2 es una vista en perspectiva, esquemática, de una sección de una pieza inicial 4 (o pieza de trabajo) que se va a forjar, dispuesta entre la matriz superior 5a y la matriz inferior 5b. Una aplicación de una presión sobre la pieza de trabajo puede estar definida por un valor de presión y una reducción en altura de la pieza de trabajo.

30 Tal como se sabe en general, la prensa en un sistema de matriz abierta no restringe completamente la pieza inicial sobre la que se trabaja sujetándola firmemente para impartir una deformación y/o un desplazamiento de material. En algunas realizaciones, el sistema de forja emplea matrices de múltiples cavidades, dispuestas a lo largo de un mismo plano, XY.

El manipulador 2 comprende un brazo móvil 2a que tiene una pinza cuyas mordazas están diseñadas para sujetar la pieza inicial 4, que tiene principalmente, pero sin limitación, una forma alargada sustancialmente cilíndrica a lo largo del eje A-A longitudinal.

- 35 El eje A-A se encuentra en el plano horizontal X-Y que es sustancialmente paralelo al plano de soporte P del manipulador 2.

40 El manipulador puede sujetar y mover la pieza inicial 4 (o pieza de trabajo) en cualquier dirección X, Y y Z, también bajo la prensa 3. En particular, el manipulador 2 es accionado para impartir un movimiento de traslación de las partes metálicas a trabajar, atrás y adelante a través de la prensa, a lo largo del eje X, y un movimiento de rotación, tal como la rotación sobre sí misma de la pieza de trabajo durante la compresión o la rotación de la pieza de trabajo para presionar diferentes secciones angulares de la pieza de metal que se va a forjar. El manipulador y la prensa son controlados por respectivas primeras señales de control y segundas señales de control, para funcionar en un modo automático y sincronizado. De las maneras habituales, las primera y segunda señales de control son recibidas y controladas por una estación de control (no mostrada en los dibujos) del sistema de forja.

45 El sistema 1 de forja puede incluir asimismo accionadores secundarios (no mostrados en las figuras) que ayudan a los accionadores principales y no interfieren directamente con el proceso de forja. Los accionadores secundarios son controlados mediante otras señales de control recibidas y controladas por la estación de control. Los accionadores secundarios incluyen: sistemas de carga, sistemas de descarga, dispositivos de colocación motorizados y sistemas de automatización para cambiar la cavidad en matrices de múltiples cavidades.

50 En una etapa de centrado inicial, la pieza inicial 4 es acoplada por el manipulador 2, trasladada en el eje X, en paralelo al eje A-A, y posiblemente girada y/o inclinada para formar un ángulo α entre el eje A-A y el plano horizontal X-Y y un ángulo β entre el eje A-A y el plano vertical X-Z. El manipulador 2 está configurado también para llevar a cabo varias etapas de rotación, en las que la pieza inicial 4 habitualmente se hace girar 90°, intercambiando cada vez el plano horizontal X-Y con el plano vertical X-Z. Se permiten ángulos de rotación menores, por ejemplo, durante una fase de terminación de la pieza de trabajo.

5 Como accionador secundario, el sistema de forja de la figura 1 comprende un dispositivo de soporte 6 giratorio interpuesto entre el manipulador 2 y la prensa 3, y tiene una base de soporte para soportar la pieza inicial 4 antes de que esta sea asida por el manipulador 2. El dispositivo de soporte 6 también tiene la función de hacer girar la pieza de trabajo alrededor de su eje longitudinal, de tal manera que la zona que se encontraba en las pinzas del manipulador en una etapa de forja previa se sitúe en la cavidad de la matriz.

10 El método de la presente invención utiliza inteligencia artificial para ejecutar y controlar el proceso de forja, preferentemente desde que se carga una pieza inicial hasta que se completa una pieza final con las dimensiones finales. Con este fin, se proporciona un módulo de inteligencia artificial (AIM), que está conectado de manera lógica a la serie de accionadores, y configurado para recibir y transmitir señales de control de los accionadores y, en particular, primeras y segundas señales de control del manipulador y de la prensa de forja, respectivamente. Un proceso de forja está almacenado en el AIM como una serie de secuencias de operaciones, comprendiendo cada secuencia de operaciones una serie de operaciones que definen las acciones a ejecutar para manipular y/o trabajar la pieza de trabajo para cambiar, por lo menos parcialmente, su forma. Por ejemplo, el AIM puede estar instalado en la estación de control del sistema de forja.

15 El proceso de forja comprende, por lo menos, una secuencia de operaciones que incluye una serie de etapas de operación para procesar la pieza de trabajo, que comienzan con una etapa de operación en la que la pieza inicial 4 es inicialmente centrada y sujeta por el manipulador 2, hasta una etapa de operación final en la que se produce una pieza final, cuando se obtienen las dimensiones finales requeridas. El número de las secuencias de operaciones en un proceso de forja puede depender de la complejidad del objeto final, por ejemplo, del número de las variaciones del diámetro externo de una pieza oblonga que se va a fabricar. Debe entenderse que la presente invención abarca un proceso de forja definido por una única secuencia de etapas de operación que comienza con la carga y el trabajo sobre una pieza inicial hasta completar una pieza final que tiene las dimensiones finales.

25 Con etapa de operación se entiende, en general, una etapa en la que la pieza inicial o pieza de trabajo es manipulada y/o trabajada, por ejemplo, una etapa para cargar la pieza inicial y disponerla entre las matrices de la prensa, una etapa de traslación atrás y adelante de la pieza a lo largo de la dirección X para trabajar diferentes secciones longitudinales de la pieza de trabajo, o una etapa de extracción de una sección longitudinal de la pieza de trabajo a un tamaño predeterminado. Con etapa de forja se entiende un tipo concreto de etapa de operación, que comprende una acción de forja que transforma, por lo menos parcialmente, la forma de la pieza de trabajo. En las realizaciones preferentes, la acción de forja es una acción de la prensa que modifica, por lo menos parcialmente, la forma y, por tanto, las dimensiones de la pieza inicial o de la pieza de trabajo. Por lo tanto, una secuencia de operaciones comprende una serie de etapas secuenciales de operación que comprende una serie de etapas de forja. En la mayor parte de las realizaciones, la serie de etapas de operación comprende además una serie de etapas que no implica acciones de forja, tales como carga y descarga de la pieza de trabajo o semi-rotación de la pieza de trabajo (en un proceso de forja, una pieza de trabajo a menudo es forjada en la mitad de su superficie exterior, girada de 180°, retomada y trabajada sobre la otra mitad de la misma). Las etapas de forja en una secuencia de operaciones deben entenderse como secuenciales una con respecto a otra, aunque dos etapas de forja posteriores siguientes pueden estar separadas por una etapa de operación que no comprenda una acción de forja.

40 Tal como se describe más detalladamente a continuación, el número y la acción de etapas de forja posteriores dentro de una secuencia operativa pueden ser modificados en tiempo real por el AIM dependiendo de las características físicas detectadas durante un proceso de forja anterior, tal como la temperatura de la pieza de trabajo.

Cada etapa de operación de la serie incluye un conjunto de acciones, ejecutándose cada acción mediante el control de los accionadores principal y/o secundario.

45 La pieza final tiene típicamente una forma con sección transversal variable.

El método de acuerdo con la presente descripción emplea un sistema de control de forja que comprende una serie de detectores de radiación, por ejemplo, cámaras de IR, para detectar la radiación infrarroja electromagnética emitida desde la pieza de trabajo durante el proceso de forja.

50 La figura 3 es una vista superior, esquemática, de la prensa 3 y de una serie de detectores, que están dispuestos a lo largo de una dirección C-C sustancialmente paralela a la dirección X-X, de acuerdo con una realización de la invención. El sistema de forja de matriz abierta comprende una matriz de detectores de radiación infrarroja electromagnética 9a a 9f, preferentemente cámaras de IR, que están conectados a un módulo de procesamiento visual (no mostrado en la figura 3), VSM (Visual Processing Module, en inglés), que está configurado para generar un mapa dimensional M1 y, en algunas realizaciones, un mapa térmico M2 de la pieza de trabajo. Las cámaras de IR están dispuestas para detectar las dimensiones reales de la pieza inicial (situación inicial) y de la pieza de trabajo al final de cada etapa de forja. Las señales eléctricas de salida de las cámaras de IR son recibidas por el VSM, que está configurado para generar un mapa dimensional de la pieza inicial / pieza de trabajo y para transmitir el mapa dimensional al AIM.

5 En algunas realizaciones, las cámaras de IR 9a a 9f están dispuestas en una relación de alineación entre las mismas, para detectar la posición de la pieza de trabajo al comienzo de una etapa de operación y al final de la misma etapa. Si la etapa de operación es una etapa de forja que incluye, por lo menos, una acción de la prensa, las cámaras de IR detectan las dimensiones exteriores reales al final de la etapa de forja (es decir, las dimensiones intermedias reales), que son obtenidas por el VSM y procesadas para generar un mapa dimensional intermedio M1 de la pieza que está siendo trabajada.

10 En la realización de la figura 3, el método proporciona la utilización de seis cámaras de IR 9a a 9f, que están sustancialmente alineadas a lo largo de una dirección C-C, que está situada en el lado del manipulador 2 y la prensa 3. La matriz de cámaras de IR 9a a 9f permite la detección de la pieza inicial 4 durante todo el proceso de forja: desde la etapa inicial, en la que la pieza inicial 4 es centrada, hasta una etapa final de fabricación. Considerando un sistema de referencia cartesiano con ejes X, Y, Z, tal como se muestra en la figura 1, en el método las seis cámaras de IR 9a a 9f están dispuestas para permitir la detección de la pieza de trabajo 4 en un plano vertical de forja X-Z, que es sustancialmente perpendicular a un Plano P sobre el que está soportado el manipulador 2. En algunas realizaciones, se proporcionan una serie de cámaras de IR secundarias, para la detección en tiempo real de la pieza de trabajo 4 en un plano X-Y que es sustancialmente el plano horizontal de forja.

15 Las cámaras de IR 9a a 9f pueden estar también dispuestas a lo largo de múltiples direcciones, y La distancia d_1 del eje X-X también puede cambiarse por razones logísticas.

En una disposición preferente, se proporciona un conjunto de cámaras de IR a lo largo de la dirección C-C y comprende:

- 20 - una primera cámara de IR 9a, situada en un dispositivo de soporte 6 motorizado, que está diseñada para detectar la pieza inicial 4 durante la etapa de inicial de centrado, estando el dispositivo de soporte 6 adaptado para soportar la pieza inicial 4 durante dicha etapa;
- una segunda cámara de IR 9b, situada próxima pero externa a la prensa 3, para detectar la etapa de inicial de centrado en la abertura de entrada 3a de la prensa 3;
- 25 - una tercera cámara de IR 9c, situada próxima al extremo inicial de la matriz superior 5a, para medir el diámetro y la posición X de la pieza de trabajo que entra en la matriz;
- una cuarta cámara de IR 9d, situada el centro de la matriz abierta 5a a 5b, para medir la cantidad de material en la matriz;
- 30 - una quinta cámara de IR 9e, situada próxima al extremo final de la matriz abierta, para medir el diámetro y la posición X de la pieza de trabajo que sale de la matriz;
- una sexta cámara de IR 9f, situada próxima pero externa a la prensa 3, para detectar las dimensiones de la parte de exceso de material fuera de la matriz, y para controlar la etapa de liberación de la pieza de trabajo terminada en la etapa final que resulta en la pieza final.

35 Cada cámara de IR 9a a 9f de la matriz se sitúa a una distancia de las cámaras anterior y siguiente, para detectar toda la zona de trabajo. En particular, la segunda cámara de IR 9b, la tercera cámara de IR 9c, la cuarta cámara de IR 9d y la quinta cámara de IR 9e, se encuentran en posiciones tales que el campo de visión de cada una de ellas se superpone parcialmente al campo de visión de las cámaras de IR 9a a 9f adyacentes en la dirección X-X, tal como se muestra en la figura 3 con líneas de puntos.

40 El número y la posición de las cámaras de IR 9a a 9f, así como la posición de la dirección C-C y su nivel con relación al plano de soporte P, pueden cambiar de acuerdo con el tipo de sistema, y está previsto que esto no suponga ninguna limitación a la presente invención.

En una realización, los detectores de radiación son cámaras en el rango de la luz visible.

45 El módulo de procesamiento visual VSM está configurado para procesar las intensidades de las señales eléctricas de salida recibidas desde las cámaras de IR 9a a 9f y para definir el mapa dimensional M1 y, posiblemente, un mapa térmico M2 de la pieza de trabajo.

50 El AIM es un módulo de software que emplea una serie de algoritmos informáticos de inteligencia artificial, que pueden utilizar diferentes técnicas informáticas, tal como los algoritmos genéticos, las lógicas difusas, las lógicas estadísticas y las redes neuronales, que, en general, permiten definir valores dependientes del tiempo de acuerdo con la autoformación. Como datos de entrada de referencia, el AIM almacena las dimensiones de la pieza final, las dimensiones de las matrices y, preferentemente, la presión máxima que puede ejercer la prensa. El AIM está configurado para generar un modelado adaptativo basado en los datos de entrada de referencia y en la información dimensional detectada después de cada etapa de forja. La generación de un modelo adaptativo se lleva a cabo utilizando algoritmos adaptativos de inteligencia artificial (IA – Artificial Intelligence, en inglés), que comprenden

reglas de aprendizaje que conducen al resultado final, es decir, la forma final de una pieza final. El AIM está configurado para ejecutar el modelado adaptativo generado por actuación sobre los accionadores de acuerdo con el modelado.

5 Después de cargar la pieza inicial en su posición para la ejecución de la primera secuencia de operaciones entre las matrices de la prensa, el AIM, sobre la base de la forma final almacenada de una pieza final, inicia la ejecución de una primera secuencia de operaciones, que tiene como parámetros de entrada la forma inicial real de la pieza inicial, la forma final de la pieza final y la geometría y dimensiones de las matrices. La secuencia de operaciones comprende una serie de etapas de forja posteriores, que comprenden una primera y una última etapa de forja, aplicando la primera etapa de forja una modificación de forma a la pieza inicial, y produciendo la última etapa de forja la pieza final que tiene la forma final, comprendiendo cada etapa de forja, por lo menos, una acción de la prensa para modificar la forma de la pieza de trabajo. Tal como se explica más detalladamente en lo que sigue, se pueden proporcionar otros parámetros de entrada al AIM, tal como la temperatura de la pieza inicial. El AIM genera un primer modelo intermedio de ejecución que describe una primera forma intermedia tridimensional de la pieza de trabajo al final de la primera etapa de forja. Posteriormente, el AIM ejecuta el modelo de ejecución mediante la generación de señales de control que ordenan a la prensa de forja y al manipulador que trabajen la pieza para llevar a cabo la primera etapa de forja.

20 Al final de la primera etapa de forja, el procedimiento continúa detectando las dimensiones reales de la pieza de trabajo por medio de la serie de detectores de IR, que producen como salida señales eléctricas que son obtenidas por el VSM para generar un primer mapa dimensional real M1 de la pieza de trabajo después de la primera etapa de forja. El AIM obtiene el primer mapa dimensional real M1 y, preferentemente, la reducción en altura de la pieza de trabajo después de la primera etapa de forja, que puede representarse por la distancia a lo largo del eje Z entre las matrices superior e inferior. Preferentemente, el AIM obtiene también el valor de la presión utilizada durante la primera etapa de forja para calcular la temperatura interna de la pieza de trabajo y/o la temperatura superficial de la pieza de trabajo al final de la primera etapa de forja. Cámaras de IR, un sensor de presión, el tiempo de deformación y/o la forma de deformación pueden utilizarse desde el AIM para estimar la temperatura interna de la pieza de trabajo para optimizar el proceso. En algunas realizaciones, se pueden utilizar sensores de temperatura para medir la temperatura exterior de la pieza de trabajo. En algunas realizaciones, el AIM obtiene el tiempo total transcurrido para ejecutar la primera etapa de forja y el tiempo de prensado durante la acción de prensa dentro de la etapa de forja.

30 El AIM utiliza algoritmos adaptativos que tienen reglas de aprendizaje que conducen, mediante las etapas posteriores, al resultado final, es decir, por ejemplo, al modelo matemático tridimensional (por ejemplo, la descripción de un dibujo tridimensional) que describe una forma final de una pieza final. Mediante la utilización de estos algoritmos informáticos, el AIM procesa adaptativamente el mapa dimensional que describe las dimensiones reales de la pieza de trabajo después de la primera etapa de forja y los datos de entrada de referencia, y genera un segundo modelo intermedio de ejecución que define un modelo tridimensional de una segunda forma intermedia para la siguiente etapa de forja posterior, es decir, la segunda etapa de forja. El segundo modelo intermedio de ejecución proporciona como datos de salida una reducción en altura de la pieza de trabajo a aplicar por la prensa en la segunda etapa de forja, los movimientos de traslación lineal de la pieza de trabajo a lo largo del eje X y el ángulo de rotación a ejecutar durante la segunda etapa de forja alrededor del eje longitudinal de la pieza de trabajo.

40 A continuación, el AIM ejecuta la segunda etapa de forja y, posiblemente, las etapas de operación que no implican forja, impartiendo un conjunto ordenado de acciones controladas de acuerdo con el segundo modelo intermedio de ejecución.

45 Al final de la segunda etapa de forja, el método repite las obtenciones y el procesamiento realizados al final de la primera etapa de forja, a saber: detectar las dimensiones reales de la pieza de trabajo por medio de la serie de detectores de IR, que son obtenidas por el VSM para generar un mapa dimensional M1 real de la pieza de trabajo después de la segunda etapa de forja, obtener, el AIM, el mapa dimensional M1 real y, preferentemente, información acerca de la reducción en altura de la pieza de trabajo después de la segunda etapa de forja y posiblemente otros parámetros de entrada enumerados haciendo referencia a la primera etapa de forja, generar un modelo intermedio de ejecución para la siguiente etapa de forja posterior, es decir, la tercera etapa de forja, y ejecutar la tercera etapa de forja como un conjunto ordenado de acciones de acuerdo con los datos de salida resultantes del modelo intermedio de ejecución.

55 El método repite iterativamente las etapas anteriores del método para cada etapa de forja de la secuencia de operaciones y, en general, para cada etapa de operación de la secuencia, hasta que llega a la forma final definida para esta secuencia, en general, a la forma final de una sección longitudinal de la pieza de trabajo. Cuando la forma de la sección longitudinal de la pieza de trabajo tiene la forma final deseada, el sistema cambia a la siguiente secuencia.

Preferentemente, un sensor de posición está montado en la prensa para detectar la posición vertical real a lo largo del eje Z de la prensa. Esto puede ser útil en caso de que la pieza de trabajo esté parcialmente oculta por la matriz, por ejemplo, está dispuesta parcialmente debajo de la matriz, y, entonces, no es completamente visible por los

detectores de IR. En este caso, las señales del sensor de posición de la prensa son obtenidas y procesadas por el VSM para completar el mapa dimensional M1 de la pieza de trabajo.

5 El AIM sabe que la forma final ha sido alcanzada mediante la detección por medio de la serie de detectores de IR de las dimensiones reales de la pieza de trabajo después de la última etapa de forja de la secuencia y, preferentemente, por la comparación con la forma final almacenada de la posición Z real de la prensa que genera un mapa dimensional real M1 (contenida en los datos de entrada de referencia) para esta secuencia. Si la forma real y la forma final almacenada para esta secuencia de operaciones están dentro de las tolerancias, el sistema cambia a la siguiente secuencia de operaciones.

10 La serie de etapas de operación de una secuencia de operaciones es dinámica, es decir, el modelo adaptativo del AIM utiliza una programación dinámica de la primera secuencia de etapas de operación y, de acuerdo con los datos de entrada de referencia y con el mapa dimensional de la pieza de trabajo después de una etapa de forja de la secuencia, el AIM puede decidir cambiar el orden y/o el número de etapas de operación de la secuencia. Por ejemplo, la inteligencia artificial adaptativa puede generar un modelo intermedio de ejecución que ejecuta una etapa de forja entre dos etapas de forja posteriores establecidas inicialmente, lo que conlleva solamente movimientos de la pieza de trabajo para compensar alguna desalineación incurrida en la primera de las dos etapas de forja.

15 En algunas realizaciones preferentes, la acción de la prensa se controla controlando la distancia D_z entre la matriz superior y la matriz inferior a lo largo del eje Z. La distancia D_z está relacionada con el diámetro exterior de la pieza de trabajo. Típicamente, el diámetro exterior de la pieza de trabajo entre las matrices es igual a la suma de D_z y el diámetro de la matriz, aunque la relación matemática puede depender de la geometría de la matriz. Las figuras 6a a 20 6c muestran un ejemplo de tres etapas de forja posteriores para la reducción gradual del diámetro exterior de la pieza de trabajo. En el presente ejemplo, la operación de la secuencia es el dentado, en el que el espesor de una sección longitudinal de una pieza de trabajo se reduce gradualmente por etapas de forja sucesivas, consistente cada una de ellas en una sola acción de la prensa. Se muestra la representación esquemática de la matriz superior 25a y de la matriz inferior 25b en el plano XZ, mientras que la pieza de trabajo entre las matrices no está indicada en las 25 figuras. La figura 6a representa el resultado de una etapa (n-1) de forja de una secuencia de operaciones, que ha llevado la distancia a un valor $(D_z)_{n-1}$. Al final de la etapa (n-1), tras la detección por medio de los detectores de IR, el VSM genera un mapa dimensional de la pieza de trabajo, el AIM obtiene como parámetros de entrada dicho mapa dimensional y genera un modelo intermedio de ejecución para la etapa n, que proporciona como salida un valor de reducción en distancia, $(\Delta D_z)_n = (D_z)_{n-1} - (D_z)_n$, para obtener un diámetro exterior correspondiente a $(D_z)_n$. El AIM 30 ejecuta a continuación el modelo intermedio de ejecución para la etapa n, que comprende el accionamiento de la prensa para reducir la distancia entre las matrices, con respecto a la etapa anterior, en un valor $(\Delta D_z)_n$ (véase la figura 6b). La figura 6c muestra el resultado de una etapa (n + 1), en la que una acción de la prensa, ejecutada por el AIM después de la generación de un modelo intermedio de ejecución para la etapa (n + 1), ha reducido aún más la distancia entre las matrices y, por tanto, el diámetro exterior de la pieza de trabajo, en $(\Delta D_z)_{n+1} = (D_z)_n - (D_z)_{n+1}$.

35 En general, la forma intermedia al final de una etapa de forja produce una sección longitudinal de la pieza de trabajo que tiene algunos diámetros exteriores menores que los de la misma sección longitudinal al final de una etapa previa de forja. Simultáneamente, la pieza de trabajo aumenta su longitud porque el material tiende a distribuirse longitudinalmente y puede generar una redondez alrededor de su eje de rotación. Esta ausencia de redondez es tenida en cuenta por el AIM para la siguiente etapa de forja, tal como se describe a continuación.

40 A modo de ejemplo, después de una primera acción de la prensa, una porción longitudinal de la pieza de trabajo que tiene una sección transversal redonda muestra una sección transversal elíptica que tiene el eje más pequeño a lo largo del eje Z (dirección del prensado). Como consecuencia, un volumen de material se mueve en las direcciones X e Y, provocando con ello una distribución desigual del material adicional sobre la pieza de trabajo. Cuando en la etapa operativa siguiente, la pieza de trabajo es girada 90°, el eje mayor de la sección transversal de la pieza está 45 dispuesto verticalmente, a lo largo del eje Z, mientras que el lado presionado está posicionado horizontalmente. Por lo tanto, el objeto a presionar en una segunda acción de la prensa subsiguiente podría ser mayor a lo largo del eje Z que el objeto presionado por la primera acción de la prensa.

El procesamiento adaptativo de los datos de entrada de referencia y de las dimensiones reales de la pieza de trabajo para la generación del modelo de ejecución tiene en cuenta la distribución del material provocada por la acción de la 50 prensa de la etapa de forja anterior y produce la forma del "mejor" modelo tridimensional de la pieza de trabajo que se va a forjar y los datos de salida para obtener dicha forma, con el fin de obtener una redistribución del material que conduce a la forma final deseada del objeto. En un proceso iterativo, la redistribución estimada de materiales será validada después de la siguiente etapa de forja mediante la obtención de las dimensiones reales de la pieza de trabajo.

55 La pieza trabajada puede presentar diámetros exteriores diferentes a lo largo de su eje longitudinal principal y, por lo tanto, se prefiere que los modelos de ejecución intermedios proporcionen como salida una posición a lo largo del eje X para forjar, con una serie de diámetros correctos, la porción de la pieza de trabajo dispuesta entre las matrices. Para permitir la creación de una pieza de trabajo con diferentes diámetros en el eje longitudinal X se debe desplazar

el manipulador 2 a lo largo del eje X de tal manera que la pieza de trabajo esté en la posición X correcta con respecto a las matrices, por ejemplo, tal como se muestra en la figura 9b.

La posición X del manipulador con respecto a las matrices depende de la deformación de la pieza de trabajo, y es calculada por el AIM en cada etapa de forja.

- 5 El AIM genera al final de cada etapa de forja un nuevo modelo intermedio de ejecución que define las respectivas formas intermedias de la pieza de trabajo, mientras se varía el volumen de material que se va a forjar, la presión aplicada al material y la reducción del material en altura.

10 En algunas realizaciones, la variación de las reducciones en altura de una forma intermedia a la siguiente depende de una serie de parámetros, que se proporcionan como datos de entrada al AIM. Algunos de dichos parámetros, por ejemplo, la presión máxima que puede aplicarse, dependen de las características de la prensa, mientras que otros parámetros están relacionados con la pieza de trabajo, tales como la temperatura y la dureza del material y la deformación real que la prensa ha impartido sobre la pieza de trabajo en la etapa de forja anterior.

15 Después de una etapa de forja, el AIM recibe del módulo del sistema de visión 8 (véase la figura 5) y, posiblemente de otros sensores 16, la información relativa al estado de deformación de la pieza de trabajo como una serie de mediciones de las cámaras de IR, la presión aplicada durante dicha deformación, el tiempo transcurrido durante la etapa de forja y la temperatura de la pieza de trabajo.

El AIM analiza dicha información y genera algunos parámetros dinámicos que determinan la creación de la siguiente forma intermedia.

20 Por ejemplo, si después de una etapa de forja anterior el sistema detecta un tiempo demasiado largo para llevar a cabo la etapa hasta alcanzar la reducción en altura preestablecida para la etapa, el AIM calculará una forma intermedia para la siguiente etapa de forja, de tal manera que la diferencia de diámetro entre el valor real detectado de la reducción en altura y el valor de la reducción en altura para la siguiente etapa sea menor que la diferencia de diámetro entre el valor real detectado de la reducción en altura para la etapa anterior y el valor preestablecido de reducción en altura para la etapa anterior. De esta manera, se optimizarán los tiempos de trabajo.

25 Como ejemplo adicional, si después de una etapa de forja previa las cámaras de IR han medido que se debe retirar una porción de material de la matriz abierta, en la parte opuesta con respecto al manipulador, el AIM calcula una porción de longitud a lo largo de X de la pieza de trabajo de tal manera que en la siguiente acción de la prensa también se forje el material retirado, asumiendo que la forma final del objeto terminado requiere que dicha porción de material se forje en dicha porción de longitud. Para esta secuencia de operaciones concreta, el AIM ordena una serie de posiciones X del manipulador de tal manera que roda la porción puede forjarse en las matrices.

30 A modo de ejemplo adicional, en el caso de la fabricación de piezas que tienen secciones transversales circulares, cuando la pieza de trabajo tiene unas dimensiones próximas a las de la pieza final, el AIM reduce el ángulo de rotación y disminuye la reducción en altura (diferencia de diámetro entre la reducción real en altura después de la última etapa y la reducción en altura de la etapa posterior), para obtener una pieza final con mayor homogeneidad y ángulos menos agudos. Por ejemplo, en las fases de desbaste, el ángulo de rotación de la forja es típicamente de 90° y genera objetos de sección no circular, las secciones parecen cuadradas con esquinas redondeadas, en la fase final el manipulador gira típicamente 30° para generar secciones circulares. En las fases de desbaste se prefiere no utilizar ángulos de rotación pequeños porque el proceso sería demasiado lento.

35 Como ejemplo adicional de cómo puede trabajar el AIM de manera adaptativa sobre los accionadores, se supone que la pieza inicial a forjar está más fría que la pieza inicial anterior (probablemente la pieza inicial calentada esperó fuera del horno demasiado tiempo). En este caso, el AIM, utilizando los algoritmos adaptativos, decide disminuir la reducción en altura para evitar la creación de grietas. Por ejemplo, el AIM imparte una orden de que una pieza de trabajo particularmente caliente debe reducirse en 30 mm en la siguiente etapa de forja, mientras que, para una pieza de trabajo más fría, el AIM controla la prensa para reducir la pieza en 25 mm en la siguiente etapa de forja. Si durante la secuencia de forja la temperatura de la pieza de trabajo cambia de manera continua, la reducción en altura se recalcula cada vez teniendo en cuenta la temperatura real, que puede ser detectada por sensores de temperatura o calculada tal como se ha indicado anteriormente.

40 En algunas realizaciones, el AIM puede cambiar el conjunto ordenado de acciones para la etapa de operación posterior y, posiblemente, el orden cronológico de las etapas de operación dentro de una secuencia de operaciones del sistema de control de la forja.

45 En particular, la serie de etapas de operación posteriores es una serie dinámica, es decir, una lista cronológica de etapas de operación que está almacenada en el AIM y es controlada iterativamente por el AIM al final de cada etapa de operación. Esto acortará considerablemente los tiempos de procesamiento y reducirá la probabilidad de terminar el proceso de forja con las dimensiones finales de la pieza terminada fuera de las tolerancias aceptables.

El sistema de inteligencia artificial comprende además algoritmos de secuencias de operaciones, que se utilizarán en etapas de operación simplificadas, por ejemplo, las etapas de operación que no requieren aprendizaje adaptativo, tales como la rotación de la pieza de trabajo, la sujeción de la pieza de trabajo, la liberación de la pieza de trabajo, la entrada y la salida de la pieza de trabajo en la prensa.

- 5 A continuación, a modo de ilustración y no de limitación, se describirá una etapa de inicial de centrado de la pieza inicial 4.

Una vez que la unidad de control AIM (Módulo de Inteligencia Artificial) recibe una señal de inicio, informando de que la pieza inicial 4 caliente está a punto de salir del horno, se lleva a cabo una etapa preventiva, inicial, de control del accionador.

- 10 Utilizando un algoritmo preestablecido de secuencias de operación, la etapa de control inicial comprueba que los accionadores están situados en una zona de seguridad y, de no ser así, genera secuencias precisas y preestablecidas de primeras señales de control y segundas señales de control para disponer los accionadores en dichas zonas de seguridad.

- 15 El AIM utiliza otro algoritmo de secuencias de operaciones para generar señales de control correspondientes para elevar y hacer girar el dispositivo de soporte 6 de tal manera que un robot que extraiga la pieza inicial 4 del horno pueda disponerla sobre la base de soporte.

- 20 Haciendo referencia a la figura 1, el dispositivo de soporte 6 se hace girar de tal manera que la pieza inicial 4 sobre la base de soporte se dispone en una posición axial y centrada con respecto a una entrada 3a de la prensa 3. La pieza inicial 4 es detectada por la serie de detectores 9a a 9f y el módulo de procesamiento visual VSM genera un mapa dimensional M1 y, posiblemente, el mapa térmico M2 de la pieza inicial.

El sistema de inteligencia artificial recibe el mapa dimensional M1 y estima las dimensiones de la pieza inicial 4, independientemente de cualquier elemento frío conocido, tal como escamas de superficiales u otros. Esto se debe a que las escamas son elementos fríos y se identifican como manchas negras en el mapa térmico M2 y, por lo tanto, son reconocidas por el AIM.

- 25 En particular, el AIM, mediante el procesamiento del mapa térmico M2, permite el reconocimiento y la identificación de una escama 7 de un extremo de sección. De este modo, mientras que la escama superficial ha de considerarse como parte de la pieza inicial 4, la escama 7 de extremo de sección genera una zona hueca y se considerará como una porción que se debe eliminar.

- 30 La figura 4 muestra esquemáticamente la escama 7 de fin de sección como la parte más oscura a la derecha de la pieza inicial 4.

Preferentemente, una vez que se han estimado las dimensiones de la pieza inicial 4, el AIM define el nivel de sujeción y genera las primeras señales de control para controlar el brazo del manipulador 2 de tal manera que la pieza inicial 4 se puede sujetar en un punto de sujeción. Preferentemente, es necesario que el punto de sujeción se corresponda con el punto medio de la pieza inicial 4.

- 35 Haciendo referencia a la figura 5, el sistema de control de forja comprende un módulo de inteligencia artificial 10 configurado para generar un modelado adaptativo que está conectado a un módulo de procesamiento visual VSM 19. El módulo AIM 10 comprende una unidad de procesamiento 18 configurada para recibir el mapa dimensional M1 y, posiblemente, el mapa térmico M2, y para estimar en tiempo real las dimensiones de la pieza de trabajo.

- 40 El modelado adaptativo se genera mediante algoritmos 13 informáticos de inteligencia artificial que utilizan reglas de aprendizaje que conducen a una forma final de la pieza final a través de una serie de etapas intermedias. La unidad de procesamiento 18 recupera los algoritmos 13 adaptativos para la generación de los modelos de ejecución.

La unidad de procesamiento AIM 18 está configurada además para generar primeras señales de control y segundas señales de control, respectivamente, adaptadas para mover el manipulador 2 y la prensa 3 y, posiblemente, otros dispositivos 17, por medio de algoritmos de secuencias de operaciones 14.

- 45 La serie de secuencias de operaciones está almacenada en un módulo 12 conectado a la unidad de procesamiento AIM 18. Los datos de entrada de referencia se almacenan en un segundo módulo 11, que está conectado a la unidad AIM 18.

- 50 El sistema de control de la forja puede comprender además sensores 16 adicionales, para detectar las condiciones ambientales durante el proceso de forja. En particular, los sensores 16 adicionales, por ejemplo, los sensores de presión, son sensores de soporte que detectan la presión de la prensa 3 con vistas a optimizar el proceso de forja. Otros sensores pueden ser los sensores térmicos para la detección de la temperatura de la pieza de trabajo.

En una realización, cada cámara de IR 9a a 9f está configurada para obtener hasta 30 imágenes por segundo, y el módulo AIM está configurado para obtener más de 100 dimensiones de la pieza de trabajo a partir de cada imagen del mapa dimensional recibido del VSM.

5 Ventajosamente, de acuerdo con la presente invención, el método de control y el sistema de forja permiten obtener el objeto final mediante la automatización completa del proceso de forja, que también puede ser controlado por operarios menos cualificados, cuya acción puede ser necesaria solo en situaciones de emergencia.

El rendimiento del sistema de forja de la presente invención puede aumentar considerablemente, puesto que los tiempos de análisis y estimación de las dimensiones de la pieza inicial son del orden de una décima de segundo, es decir, mucho más cortos que los tiempos necesarios para el control manual.

10 Además, habrá un número mucho menor de errores dimensionales en el producto final, en comparación con los sistemas de forja manuales o semiautomáticos.

Ejemplo

15 Un ejemplo de un objeto final que puede fabricarse mediante un método de forja de acuerdo con la presente invención es un eje de tren ferroviario. La figura 7 es una vista esquemática en planta de un eje 30 que tiene de izquierda a derecha seis variaciones del diámetro exterior, que definen siete secciones longitudinales 31, 32, 33, 34, 35, 36. El eje tiene una simetría axial a lo largo del eje Y.

20 Las figuras 8a - 8h muestran esquemáticamente un proceso de forja definido como una serie de secuencias de operaciones posteriores, de acuerdo con una realización de la presente invención, siendo el proceso adecuado para producir un eje de tren, tal como el de la figura 7. El proceso de forja utiliza un sistema de forja que tiene una matriz abierta de múltiples cavidades, que se muestran esquemáticamente en las figuras. 9a y 9b. La figura 9a es una vista en sección transversal en el plano YZ de la matriz de tres cavidades, que tiene una matriz superior 61 y una matriz inferior 62, mostrada en una posición cerrada, mientras que la figura 9b es una vista en sección transversal en un plano perpendicular al de la figura 9a, tomada a lo largo del plano medio de las cavidades. La matriz de tres cavidades está configurada de tal manera que forma cavidades primera, segunda y tercera 63, 64 y 65, formando concavidades como molde negativo para el conformado de la pieza de trabajo. La figura 9b es una vista en sección transversal en el plano XY a través de las superficies de contacto de las matrices superior e inferior. La primera cavidad de moldeo 63 tiene tres anchos diferentes a lo largo de su longitud, mientras que la segunda cavidad de moldeo 64 tiene dos anchos diferentes a lo largo de su longitud. La tercera cavidad 65 tiene un ancho uniforme a través de su longitud.

30 Volviendo al ejemplo del proceso de forja para fabricar el eje del tren de la figura 7, la figura 8a representa el resultado de una primera etapa de reducción de la presión de operación en la que se reduce una matriz caliente cilíndrica hasta el diámetro tal como 42 el mostrado en la figura 8a, mientras que una porción 41 sujeta por las pinzas del manipulador permanece en el diámetro de la pieza inicial, puesto que no puede ser presionada. La figura 8b representa el resultado de una primera secuencia de operaciones que ha reducido uniformemente el diámetro exterior inicial de la pieza inicial para formar una pieza de trabajo cilíndrica 42a que tiene un diámetro externo uniforme menor que el de la pieza de trabajo 42. La primera secuencia de operaciones se realiza utilizando una tercera cavidad de moldeo 65 y se lleva a cabo reduciendo gradualmente el diámetro exterior (reducción en longitud a lo largo del eje Z de la acción de compresión) por medio de una serie de etapas de forja y movimientos posteriores del manipulador a lo largo del eje X para mover la pieza de trabajo adelante y atrás con respecto a la matriz 43, mostrada como una línea de puntos.

45 La figura 8c muestra el resultado de una segunda secuencia de operaciones, posterior a la primera secuencia de operaciones, que ha conformado una sección longitudinal media 44 de la pieza de trabajo 42a que tiene un diámetro menor que el de las secciones exteriores longitudinales contiguas. Las etapas de forja principales incluyen la reducción gradual en longitud de la distancia entre la parte superior e inferior. La segunda secuencia de operaciones utiliza la segunda cavidad de moldeo 64 que tiene una discontinuidad en el diámetro. La línea de puntos 45 indica la zona de matriz, es decir, la posición de la cavidad de moldeo.

50 La figura 8d muestra el final de una tercera secuencia de operaciones llevada a cabo sobre la primera cavidad de moldeo 63 para producir una sección longitudinal extrema 46 (es decir, el husillo del eje) que tiene un diámetro exterior sustancialmente menor que el de la sección longitudinal contigua 42a. La línea de puntos 47 indica la zona de la matriz.

55 Las operaciones primera a tercera de la secuencia se llevan a cabo solamente sobre una porción de la pieza de trabajo porque la parte 41 de la pieza de trabajo está sujeta por las pinzas del manipulador y, por lo tanto, esta parte no puede ser forjada con la prensa. Para completar la forma de las secciones longitudinales trabajadas en las tres secuencias de operaciones anteriores, es necesario hacer girar la pieza de trabajo y trabajar sobre la otra parte de la superficie. Al final de la tercera secuencia de operaciones, la pieza de trabajo se hace girar 180° con respecto al centro de la pieza de trabajo en el plano XY durante una cuarta secuencia de operaciones, la cual puede

comprender descargar y cargar de nuevo la pieza de trabajo. Para ello, el AIM calcula el punto de equilibrio de la pieza de trabajo y ordena al manipulador que la coloque sobre el soporte giratorio. El soporte giratorio gira 180° y la pieza de trabajo es tomada por el manipulador.

El punto de sujeción es calculado por el AIM utilizando el mapa dimensional M1 generado por el VSM.

- 5 La figura 8e muestra la pieza de trabajo de la figura 8d después de la rotación de 180° con respecto al centro de la pieza de trabajo en el plano XY. El número de referencia 41 indica la zona de sujeción de la pieza de trabajo de las pinzas del manipulador vista después de la rotación. La figura 8f representa el resultado de una quinta secuencia de operaciones, que disminuyó el diámetro exterior de la sección longitudinal de la pieza de trabajo 46 de la figura 8e para formar una sección longitudinal 49. La quinta secuencia de operaciones se lleva a cabo utilizando la tercera cavidad de la matriz 65 y se lleva a cabo reduciendo de forma gradual el diámetro exterior (reducción en longitud a lo largo del eje Z de la acción de compresión) mediante una serie de etapas de forja posteriores. La línea de puntos 48 indica la zona de la matriz.

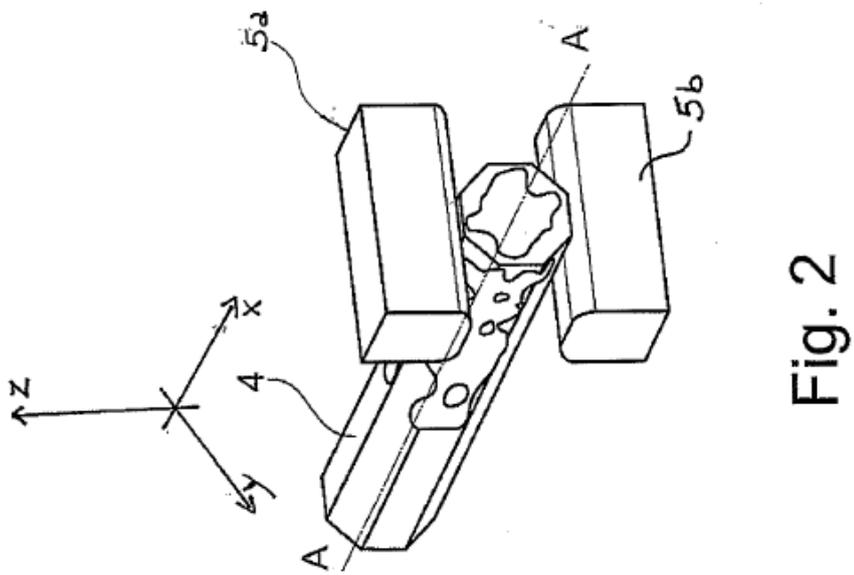
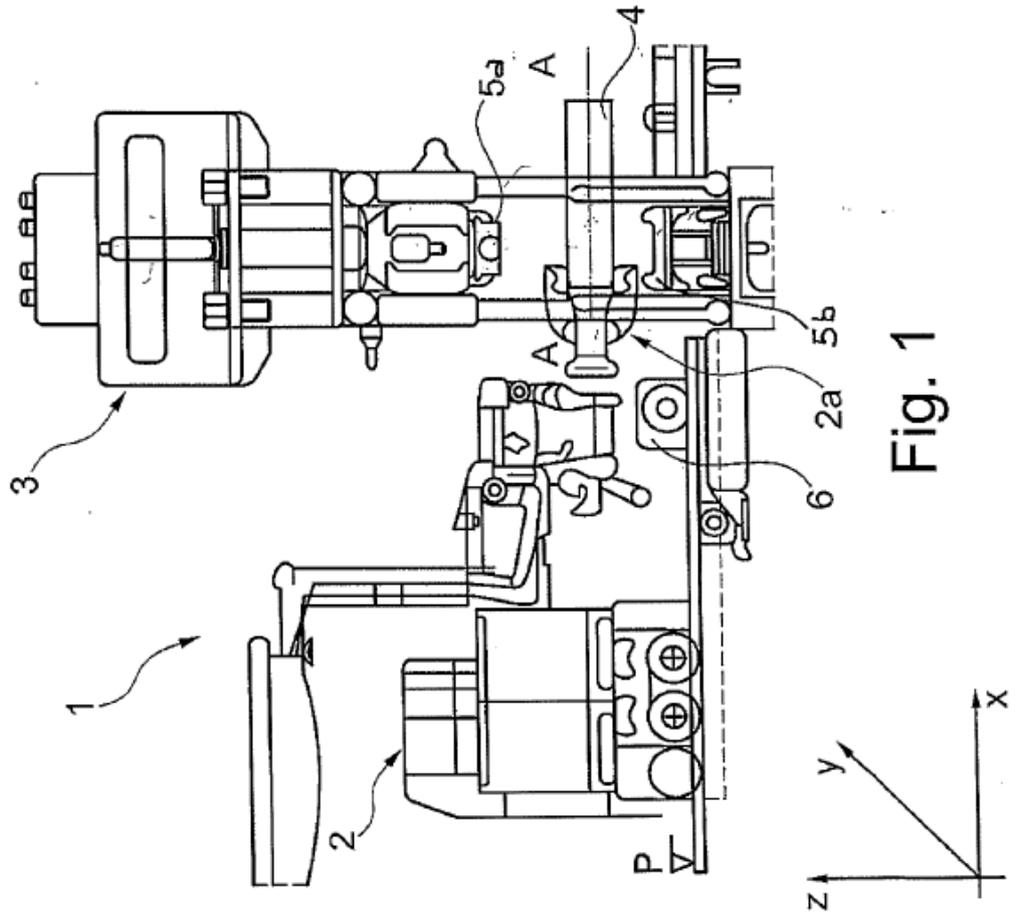
- 10 La figura 8g muestra el resultado de una sexta secuencia de operaciones, que ha completado el conformado de la sección longitudinal media 44 mediante la reducción del diámetro exterior de la sección media. Las etapas principales de la forja incluyen la reducción gradual en longitud de la distancia entre la parte superior e inferior. La sexta secuencia de operaciones utiliza la segunda cavidad de moldeo 64 que tiene una discontinuidad en el diámetro. La línea de puntos 50 indica la zona de la matriz.

- 15 La figura 8h muestra el final de una séptima secuencia de operaciones llevada a cabo utilizando la primera cavidad de moldeo 63 para completar la sección longitudinal extrema 46 (es decir, el husillo del eje). La línea de puntos 51
20 indica la zona de la primera cavidad de moldeo 63.

REIVINDICACIONES

1. Método controlado automáticamente para forjar una pieza inicial (4) para fabricar, por lo menos, una primera porción longitudinal de una pieza final que tiene una forma final definida por dimensiones finales, utilizando el método un sistema de forja de matriz abierta que comprende una serie de accionadores que comprenden una prensa de forja (3) y un manipulador (2), en el que la prensa comprende una matriz (5), comprendiendo el método:
- 5 (a) proporcionar un módulo de inteligencia artificial (AIM) (10) conectado de manera lógica a la serie de accionadores y configurado para recibir y transmitir señales de control a los accionadores, en el que el AIM (10) está configurado para generar un modelado adaptativo por medio de algoritmos informáticos de inteligencia artificial que utilizan reglas de aprendizaje que conducen a una forma final de la pieza final,
- 10 (b) obtener, utilizando el AIM (10), los datos de entrada de referencia que comprenden datos dimensionales de la pieza que describen la pieza final con una forma final definida mediante dimensiones finales, y los datos dimensionales de la matriz que describen la geometría y dimensiones de la matriz;
- 15 (c) definir, utilizando el AIM (10), un proceso de forja como una serie de secuencias de operaciones que comprenden una primera secuencia de operaciones para obtener una primera porción longitudinal de la pieza final, comprendiendo la primera secuencia de operaciones una serie de etapas de operación, en el que la serie de etapas de operación comprende una serie de etapas de forja que comprende una primera etapa de forja que modifica la forma de la pieza inicial y una última etapa de forja, comprendiendo cada etapa de forja, por lo menos, una acción de la prensa para modificar la forma de la pieza de trabajo que se está forjando,
- 20 (d) obtener, utilizando el AIM (10), los datos dimensionales en pieza inicial que describen la pieza inicial que tiene una forma inicial con dimensiones iniciales;
- 25 e) inicializar, utilizando el AIM (10), la primera secuencia de operaciones, y generar un primer modelo intermedio de ejecución para una primera etapa de forja, en el que la generación del primer modelo intermedio de ejecución comprende utilizar los algoritmos informáticos adaptativos para procesar adaptativamente los datos de entrada de referencia y los datos dimensionales de pieza inicial para producir un modelo tridimensional que define una primera forma intermedia de la pieza de trabajo que se va a forjar mediante la primera etapa de forja y calcular los primeros datos de salida para obtener la primera forma intermedia;
- 30 (f) ejecutar, utilizando el AIM (10), el primer modelo intermedio de ejecución accionando, por lo menos la prensa, para realizar la primera etapa de forja,
- 35 (g) detectar las dimensiones reales de la pieza de trabajo al final de la primera etapa de forja utilizando una serie de detectores de radiación (9) que producen señales eléctricas de salida, generando un mapa dimensional de la pieza de trabajo sobre la base de las señales eléctricas procedentes de la serie de detectores y transmitiendo el mapa dimensional de pieza de trabajo al AIM;
- 40 (h) generar, utilizando el AIM (10), un segundo modelo intermedio de ejecución para una segunda etapa de forja, en el que la generación del segundo modelo intermedio de ejecución comprende utilizar los algoritmos informáticos adaptativos para procesar adaptativamente el mapa dimensional de pieza detectado al final de la primera etapa de forja, y los datos de entrada de referencia para producir un modelo tridimensional que define una segunda forma intermedia de la pieza que se va a forjar mediante la segunda etapa de forja y calcular los datos de salida intermedios para obtener la segunda forma intermedia;
- 45 (i) ejecutar, utilizando el AIM (10), el segundo modelo intermedio de ejecución accionando, por lo menos, la prensa (3) para realizar la segunda etapa de forja, y
- (j) repetir iterativamente las etapas (g) a (i) para ejecutar secuencialmente las etapas de operación restantes de la primera secuencia de operaciones hasta la última etapa de forja para producir la primera porción longitudinal de la pieza final.
2. El método de la reivindicación 1, en el que la prensa comprende una matriz de múltiples cavidades, y ejecutar el segundo modelo intermedio de ejecución comprende además accionar el manipulador para cambiar la cavidad que se va a emplear para una etapa de forja posterior.
3. El método de la reivindicación 1 o 2, en el que ejecutar el segundo modelo intermedio de ejecución comprende además accionar el manipulador para hacer girar la pieza de trabajo alrededor de su eje longitudinal con un ángulo de rotación predeterminado antes de ejecutar una etapa de forja posterior.
4. El método de las reivindicaciones anteriores, en el que el método es para forjar una pieza inicial (4) para producir una pieza final, y la serie de secuencias de operaciones comprende, por lo menos, una segunda secuencia de

- operaciones para obtener una segunda porción longitudinal de la pieza final, comprendiendo la segunda secuencia de operaciones una serie de etapas de operación, en el que la serie de etapas de operación comprende una serie de etapas de forja que comprenden una etapa de forja inicial que modifica la forma de la pieza de trabajo producida mediante la primera secuencia de operaciones y una última etapa de forja, comprendiendo además el método las etapas repetitivas (e) a (j) para producir la segunda porción longitudinal de la pieza final con el fin de completar la formación de la pieza final.
5. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la prensa (3) incluye una matriz superior (5a) y una matriz inferior (5b), y los primeros datos de salida comprenden una primera reducción en distancia (ΔD_z)₁ de una distancia de referencia D_z entre la matriz superior (5a) y la matriz inferior (5b), y el accionamiento, por lo menos, de la prensa (3) para ejecutar la primera etapa de forja de la etapa (f) se lleva a cabo controlando la distancia entre las matrices superior e inferior (5) para reducirla en la primera reducción de distancia para obtener una distancia (D_z)₁.
6. El método de la reivindicación 5, en el que los datos de salida intermedios comprenden una segunda reducción en distancia (ΔD_z)₂ de la distancia (D_z)₁, y el accionamiento de la prensa (3) de la etapa (i) se lleva a cabo controlando la distancia entre las matrices superior e inferior (5) para reducirla aún más en la segunda reducción de distancia.
7. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los primeros y segundos datos de salida intermedios comprenden un valor de presión respectivo que se aplicará mediante la prensa durante las respectivas etapas de forja.
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que en las etapas (f) e (i) de ejecución del modelo intermedio de ejecución se llevan a cabo mediante la generación de señales de control que controlan el accionamiento de, por lo menos, la prensa (3) y, posiblemente del manipulador (2).
9. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que los primeros datos de salida y/o los datos de salida intermedios comprenden accionar el manipulador (2) para situar la primera porción longitudinal de la pieza de trabajo en una posición dada con respecto a la matriz.
10. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (d) de obtención de los datos dimensionales de la pieza inicial comprende detectar las dimensiones reales de la pieza inicial utilizando la serie de detectores de radiación (9) que producen señales eléctricas de salida, generando un mapa dimensional de la pieza inicial (4) a partir de las señales eléctricas de salida, y transmitir el mapa dimensional en pieza inicial al AIM (10), en el que los datos dimensionales de la pieza inicial procesados en la etapa (e) mediante los algoritmos informáticos adaptativos son el mapa dimensional de la pieza inicial.
11. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que la serie de detectores de radiación (9) es una matriz de detectores de radiación infrarroja conectada a un módulo de procesamiento visual, que está configurada para generar el mapa dimensional procesando las señales eléctricas de salida recibidas de los detectores, y está conectada de manera lógica al AIM (10), y configurada para transmitir el mapa dimensional generado al AIM (10).
12. El método de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en el que el modelado adaptativo del AIM (10) utiliza una programación dinámica de la primera secuencia de etapas de operación y, de acuerdo con los datos de entrada de referencia y con el mapa dimensional de la pieza de trabajo después de una etapa de forja de la secuencia, el AIM (10) está configurado para cambiar el orden y/o el número de etapas de operación en la secuencia.
13. El método de la reivindicación 5, que comprende además, antes de la etapa (h), obtener la distancia real entre la matriz superior (5a) y la matriz inferior (5b) después de la primera etapa de forja, y la generación de un segundo modelo intermedio de ejecución comprende utilizar los algoritmos informáticos adaptativos para procesar adaptativamente el mapa dimensional de la pieza de trabajo detectada al final de la primer etapa de forja, definiendo la distancia real entre las matrices (5) y los datos de entrada de referencia para producir un modelo tridimensional la segunda forma intermedia, y calcular los datos de salida intermedios.



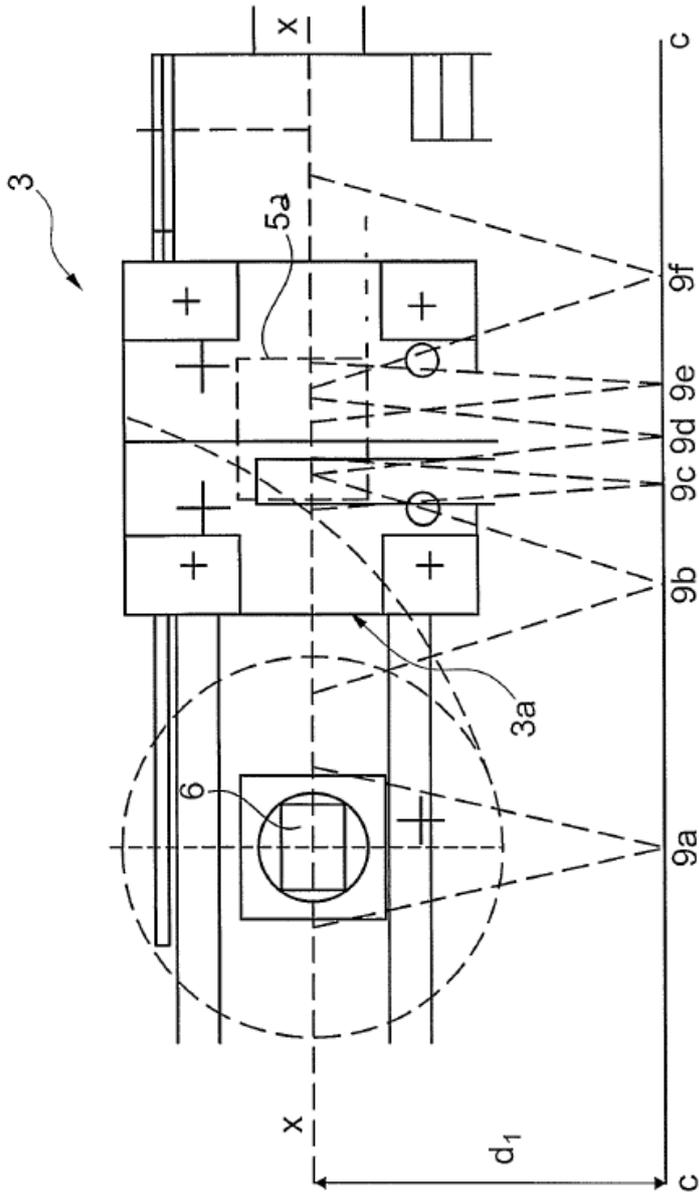
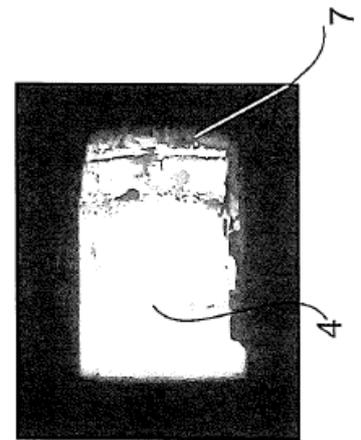
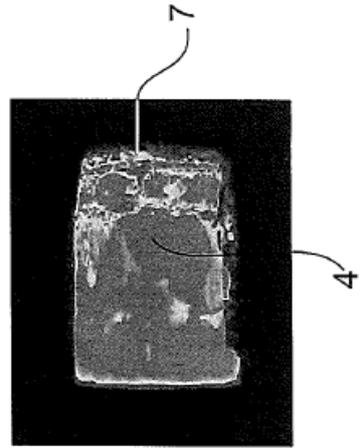


Fig. 3



Fig. 4



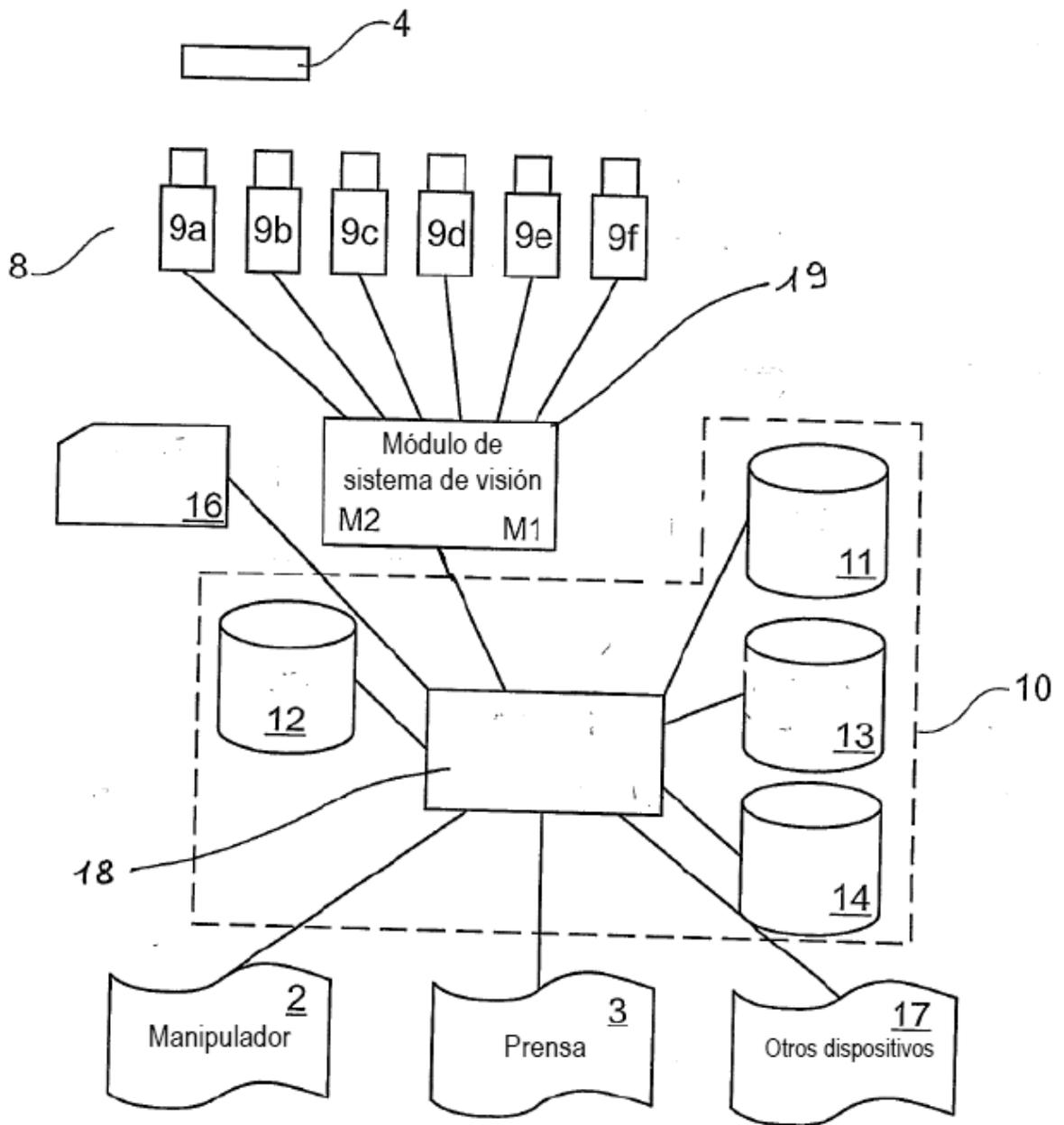


Fig. 5

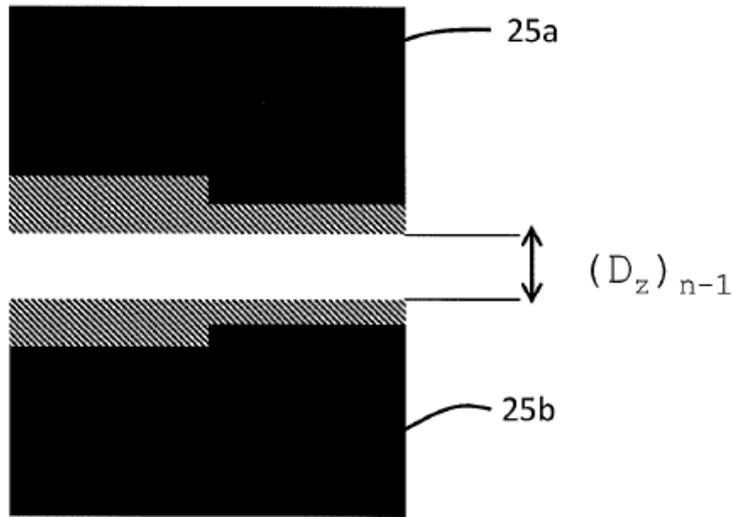


FIG. 6a

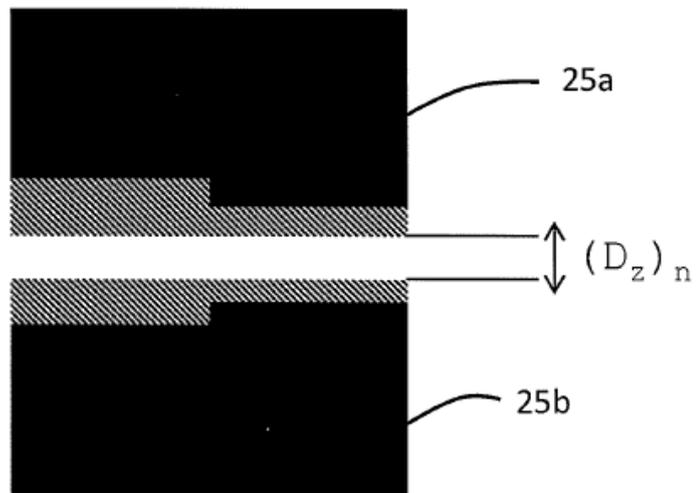


FIG. 6b

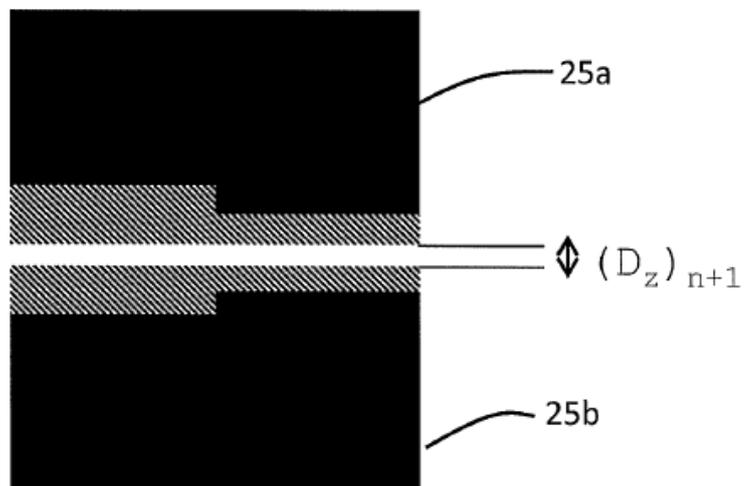


FIG. 6c

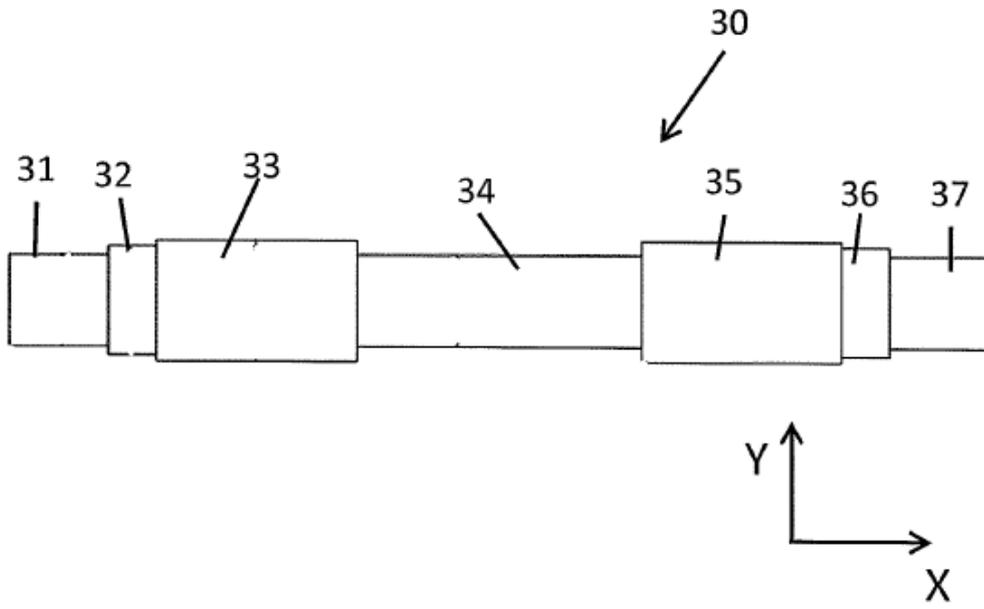


FIG. 7

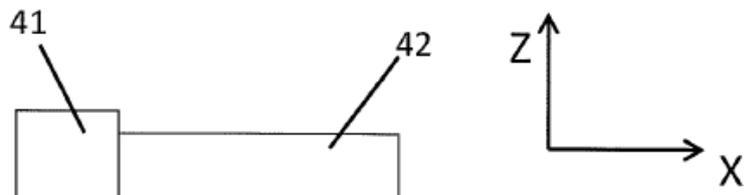


FIG. 8a

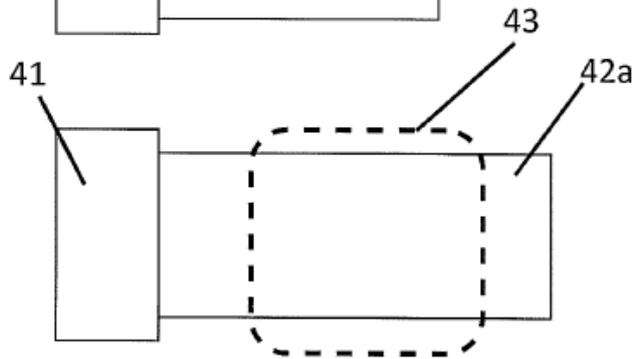


FIG. 8b

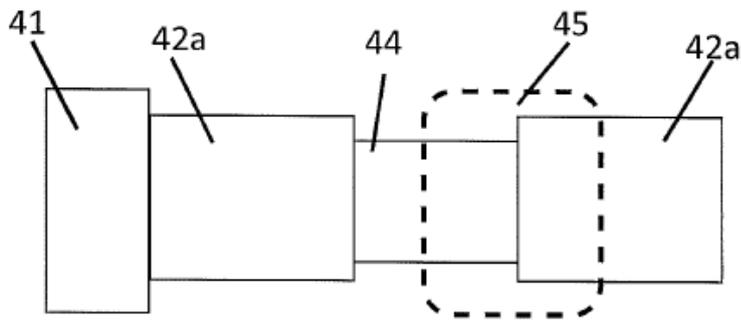


FIG. 8c

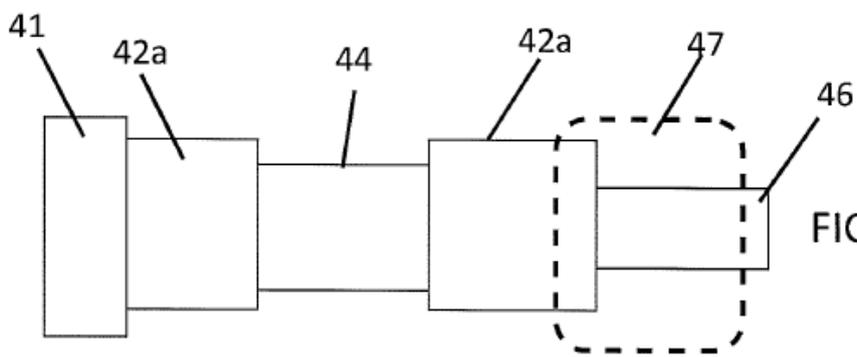


FIG. 8d

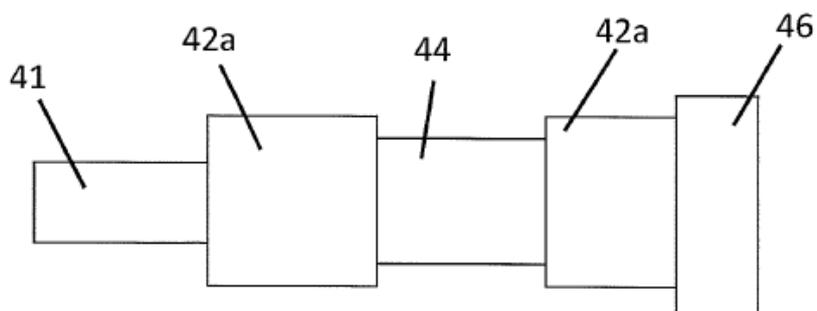


FIG. 8e

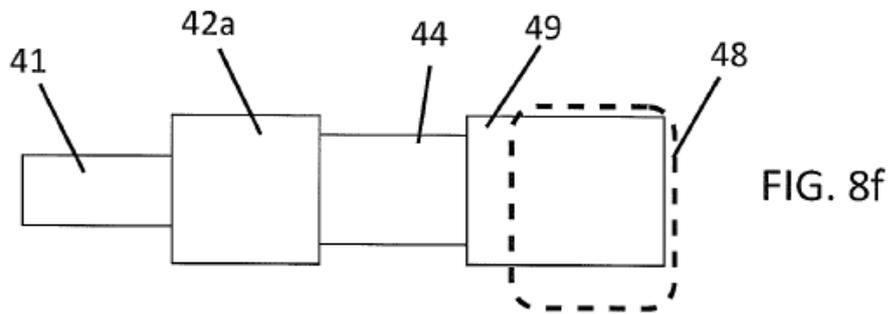


FIG. 8f

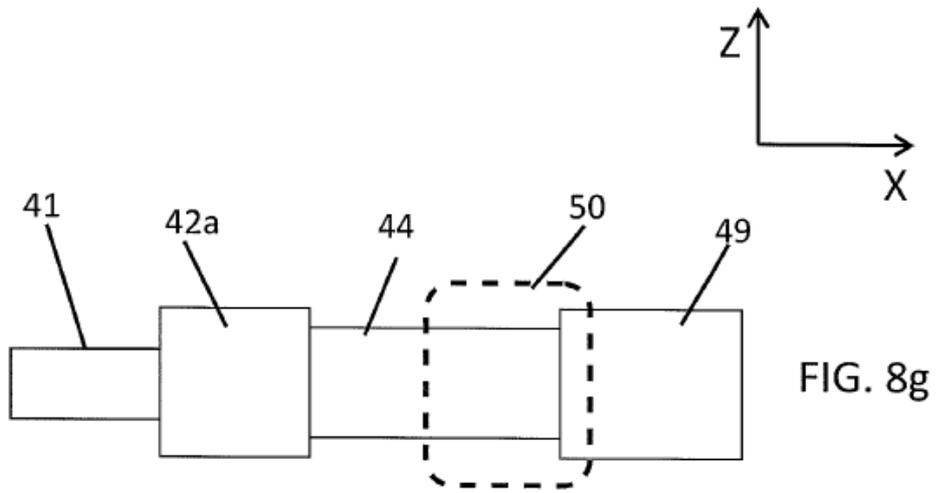


FIG. 8g

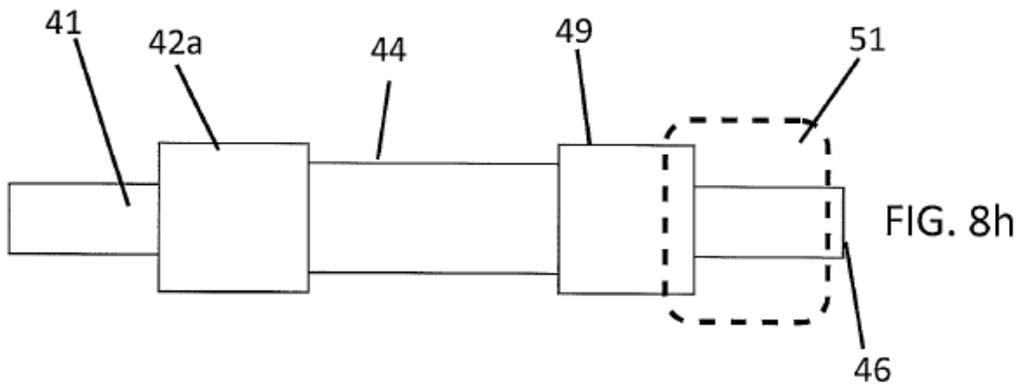


FIG. 8h

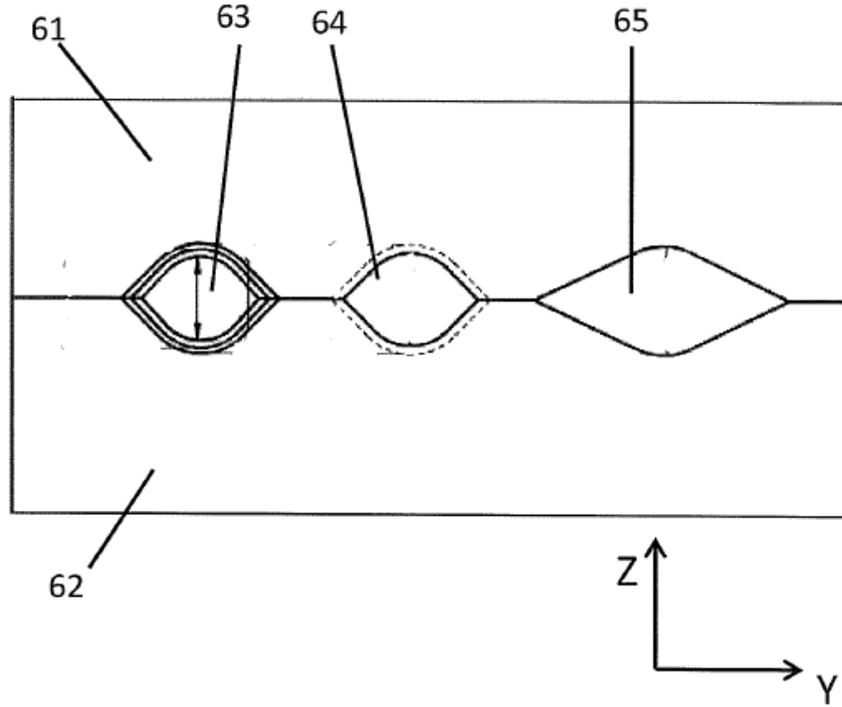


FIG. 9a

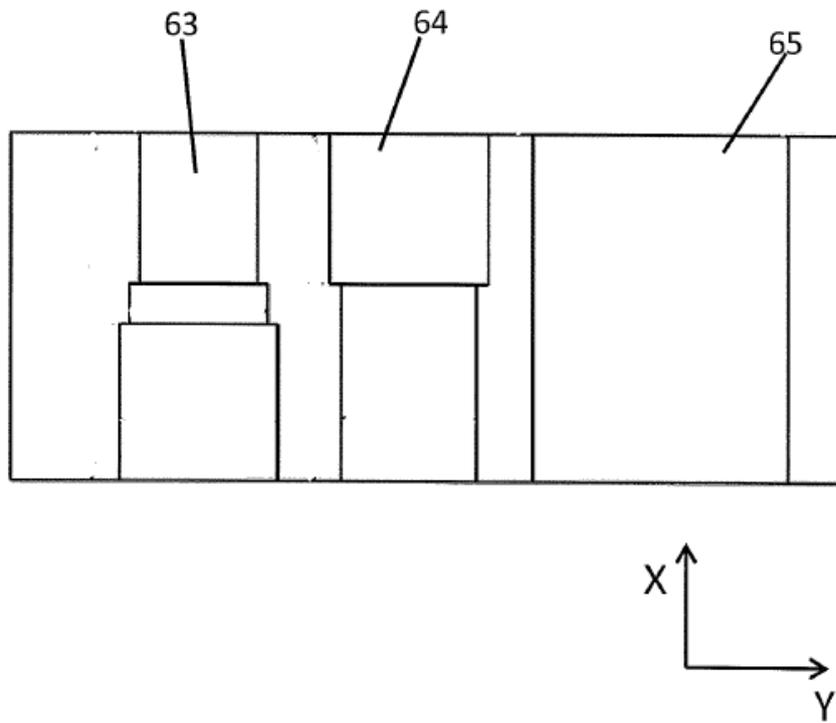


FIG. 9b