

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 991 392**

51 Int. Cl.:

**B25J 9/16** (2006.01)

**B23B 49/00** (2006.01)

**B25J 11/00** (2006.01)

**B25J 13/08** (2006.01)

**B25J 15/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.03.2021** **PCT/GB2021/050723**

87 Fecha y número de publicación internacional: **30.09.2021** **WO21191610**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.03.2021** **E 21716822 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.09.2024** **EP 4126476**

54 Título: **Mordaza de perforación robotizada y métodos implementados por ordenador para operar un taladro robótico**

30 Prioridad:

**25.03.2020 GB 202004306**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**03.12.2024**

73 Titular/es:

**TRUE POSITION ROBOTICS LIMITED (100.0%)**  
**Cathedral House, 5 Beacon Street**  
**Lichfield Staffordshire WS13 7AA, GB**

72 Inventor/es:

**HOLDEN, ROGER**

74 Agente/Representante:

**ELZABURU, S.L.P**

ES 2 991 392 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

Mordaza de perforación robotizada y métodos implementados por ordenador para operar un taladro robótico

### Campo de la invención

La invención se refiere a una mordaza para un taladro robótico y a un método y sistema relacionados para la perforación robótica de un componente.

### Antecedentes

En aplicaciones de perforación robótica de alta precisión, por ejemplo en la industria aeroespacial, es posible que sea necesario perforar numerosos orificios en diversas ubicaciones definidas con precisión en un componente. Es posible que los orificios deban orientarse en diferentes ángulos y en diferentes posiciones, por lo que puede ser necesaria una herramienta de perforación que tenga múltiples ejes de movimiento. Se puede utilizar un brazo robótico equipado con una herramienta de perforación para este propósito. Si bien dichos brazos robóticos pueden alcanzar grados razonables de precisión debido a la retroalimentación procedente de los codificadores internos de cada articulación, se pueden producir errores de posición de tres maneras principales diferentes. La Figura 1 ilustra el origen de tres tipos diferentes de posibles errores en un brazo robótico. Los errores cinemáticos (Figura 1a) dan como resultado errores de posición o de rotación en cada articulación. Las fuerzas de elasticidad y de proceso (Figura 1b) dan como resultado errores derivados de las fuerzas en el brazo robótico que crean un desplazamiento sin que necesariamente se mida ningún movimiento. Los errores de retroceso o pérdida de movimiento (Figura 1c) se deben a la holgura que se acumula en varios engranajes en todo el brazo robótico. Cada uno de estos tipos de error se puede combinar para dar como resultado una precisión de posición y orientación reducida cuando se utiliza un brazo robótico para una operación de perforación.

En las operaciones de perforación robótica, se puede utilizar una mordaza para garantizar que una herramienta de perforación se mantenga en posición contra un componente que va a ser mecanizado. La mordaza se puede accionar neumáticamente, aplicando una alta presión contra la pieza de trabajo. La presión puede forzar al taladro a salir de su posición prevista, lo que lleva a un posicionamiento inexacto. Además, tales presiones pueden provocar daños en la pieza de trabajo, que pueden no ser evidentes si, por ejemplo, la pieza de trabajo está formada por un material compuesto.

El documento DE102017213717A1 describe un dispositivo de mecanizado que incluye las características del preámbulo de la presente reivindicación 1, para mecanizar componentes de gran superficie formados libremente en una aeronave, que comprende un marco guía para guiar el husillo de la herramienta, un dispositivo de sujeción para alojar el husillo de la herramienta, en donde el marco guía está montado de forma deslizante en el dispositivo de soporte mediante un cojinete lineal, un elemento de soporte que puede conectarse o está conectado al marco guía para soportar el dispositivo de procesamiento sobre una superficie del componente a procesar, un elemento para ajustar la presión de contacto con la que el dispositivo de procesamiento es presionado contra la superficie del componente y una unidad servo con la que es desplazable el marco guía en relación con el dispositivo de soporte. Se describe un método para mecanizar componentes de forma libre de área grande, que comprende: posicionar el dispositivo de mecanizado en relación con el componente de forma libre de área grande que se va a mecanizar y presionar el dispositivo de mecanizado contra el componente con una presión de contacto.

El documento US 2014/0348603 A1 describe un aparato de perforación que incluye: una broca que puede girar alrededor de un eje central y que puede avanzar y retraerse a lo largo del eje; y una unidad de presión para presionar una pieza en la dirección de avance de la broca. El aparato de perforación hace avanzar la broca mientras gira la broca alrededor del eje central para formar un orificio en la pieza, en un estado en el que la pieza es presionada por la unidad de presión. La fuerza de presión aplicada a la pieza por la unidad de presión se establece en una fuerza de presión predeterminada en función de la reacción de mecanizado aplicada a la broca desde la pieza durante la perforación y la fuerza de presión que produce la deformación de la pieza en la dirección de avance de la broca. La fuerza de presión predeterminada puede suprimir la deformación de la pieza y el desplazamiento de la broca debido a la reacción de mecanizado. La reacción de mecanizado y la fuerza de presión se calculan previamente en una prueba de perforación.

### Compendio de la invención

De acuerdo con un primer aspecto de la invención, que está definida por las reivindicaciones adjuntas, se proporciona una mordaza configurada para unirse a una herramienta de perforación de un taladro robótico, comprendiendo la mordaza:

una parte de unión configurada para unirse a la herramienta de perforación;

un marco que se puede mover linealmente con respecto a la parte de unión a lo largo de un eje central de la mordaza concéntrico con la dirección de perforación de la herramienta de perforación;

un mecanismo de accionamiento que comprende un servomotor configurado para accionar el movimiento lineal

del marco con respecto a la herramienta de perforación;

una parte de contacto con la pieza de trabajo en un extremo distal del marco, que comprende una superficie para entrar en contacto con una superficie de una pieza de trabajo a perforar y una abertura que permite el paso de una broca de la herramienta de perforación a través de la superficie de la pieza de trabajo; y

- 5 un sensor de fuerza dispuesto para medir una fuerza que actúa sobre la parte de contacto con la pieza de trabajo en la dirección de perforación,

en donde el marco tiene un par de brazos que se extienden en la dirección de perforación a cada lado del eje central y una pieza de extremo distal que se extiende entre el par de brazos,

- 10 en donde el servomotor está configurado para accionar cada uno de los brazos del marco mediante la rotación de las respectivas varillas que se extienden a lo largo de cada brazo.

Una ventaja es que la combinación de un mecanismo de accionamiento accionado por servomotor con un sensor de fuerza permite aplicar una fuerza de sujeción controlada a la pieza a mecanizar, lo que reduce o controla los errores de posicionamiento que de otro modo podrían producirse.

- 15 La parte de contacto con la pieza de trabajo puede tener una superficie antideslizante para entrar en contacto con la superficie de la pieza de trabajo. La superficie antideslizante puede comprender, por ejemplo, una capa o revestimiento de caucho. El caucho puede ser, por ejemplo, neopreno. Dicha superficie antideslizante reduce aún más la posibilidad de que la herramienta de perforación se desplace de su posición durante una operación de sujeción.

- 20 Los brazos y la pieza de extremo pueden ser de construcción unitaria. El marco que tiene forma de C evita la deflexión, la distorsión y/o el deslizamiento del marco cuando la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo entra en contacto con la pieza de trabajo y se aplica una fuerza de sujeción.

La rotación de las varillas puede sincronizarse mediante una polea o una correa de sincronización que se extiende entre el par de brazos. La rotación sincronizada de las varillas permite accionar el marco, de modo que la fuerza aplicada en la parte de contacto con la pieza de trabajo sea concéntrica con la dirección de perforación.

De acuerdo con un segundo aspecto, se proporciona un sistema de perforación robótico, que comprende:

- 25 un taladro robótico que tiene una herramienta de perforación;
- un soporte de pieza de trabajo para sujetar una pieza que va a ser mecanizada;
- una mordaza de acuerdo con el primer aspecto unida a la herramienta de perforación; y
- un controlador conectado y dispuesto para controlar el taladro robótico y la mordaza,
- en donde el controlador está configurado para:
- 30 accionar el taladro robótico para hacer contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza con una pieza de trabajo a mecanizar;
- accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y
- operar la herramienta de perforación para perforar un orificio en la pieza de trabajo.

- 35 El sistema de perforación robótico puede comprender un sistema de metrología para medir una posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo que se va a mecanizar. El sistema de metrología puede comprender una primera pluralidad de p ubicados en el taladro robótico y una segunda pluralidad de elementos de referencia ubicados en el soporte de pieza de trabajo. El controlador se puede configurar para recibir señales de la primera y/o segunda pluralidad de elementos de referencia para determinar una posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo.
- 40

- El sistema de metrología puede ser un sistema de metrología óptica, y la primera y la segunda pluralidad de elementos de referencia pueden comprender emisores ópticos. El sistema de metrología puede comprender una pluralidad de sensores ópticos dispuestos para determinar una posición de la herramienta con respecto al soporte de pieza de trabajo en función de las señales recibidas por los sensores ópticos desde la primera y la segunda pluralidad de emisores ópticos.
- 45

En un primer modo, el controlador puede configurarse para:

accionar el taladro robótico para hacer contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza con una pieza de trabajo a mecanizar;

medir una primera posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

5 medir una primera posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

determinar una desviación a partir de una diferencia entre la primera y la segunda posición medida; y

almacenar la desviación determinada para la ubicación predeterminada.

10 El controlador puede configurarse para determinar y almacenar una desviación para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

En un segundo modo, el controlador puede estar configurado para:

recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

accionar el taladro robótico para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

15 accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

operar la herramienta de perforación para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo.

20 El controlador puede configurarse para medir una posición de la herramienta de perforación después de accionar el servomotor y para actualizar la desviación almacenada para la ubicación predeterminada. El sistema puede de este modo ser actualizado continuamente durante las operaciones de perforación para mantener la precisión posicional.

25 El uso del sistema de metrología para determinar una desviación para cada ubicación de la pieza que se va a mecanizar permite realizar una corrección de compensación o una desviación específica para cada ubicación, ya que las diferentes ubicaciones de una pieza de trabajo compleja darán como resultado diferentes elasticidades en el taladro robótico. En el caso de un brazo robótico, por ejemplo, la elasticidad diferirá según la orientación del brazo en relación con el soporte de pieza de trabajo. Al operar el sistema de perforación robótico en el primer modo, que puede ejecutarse sin que se lleve a cabo ninguna operación de perforación, se puede determinar un conjunto de desviaciones para cada ubicación predeterminada en la que se va a realizar la perforación para una pieza de trabajo determinada, que se puede aplicar a piezas de trabajo posteriores de estructura nominalmente idéntica, mejorando así la precisión y la repetitividad generales.

30 Según un tercer aspecto, se proporciona un método implementado por ordenador para operar un taladro robótico, cuyo método comprende, en un primer modo:

accionar el taladro robótico para que entre en contacto con una superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de una mordaza de acuerdo con el primer aspecto unida a una herramienta de perforación del taladro robótico con una ubicación predeterminada en la pieza de trabajo que se va a mecanizar;

35 medir una primera posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

40 medir una segunda posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

determinar una desviación a partir de una diferencia entre la primera y la segunda posición medidas; y

almacenar la desviación determinada para la ubicación predeterminada.

El primer modo del método se puede repetir para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

El método puede comprender además, en un segundo modo:

45 recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

accionar el taladro robótico para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

operar la herramienta de perforación para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo.

El segundo modo del método se puede repetir para las ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

5 Según un cuarto aspecto, se proporciona un método para operar un taladro robótico, comprendiendo el método:

recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

accionar el taladro robótico para que entre en contacto con una superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de una mordaza de acuerdo con el primer aspecto unida a una herramienta de perforación del taladro robótico en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

10 accionar el servomotor para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

operar la herramienta de perforación para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo.

El método se puede repetir para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

15 De acuerdo con un quinto aspecto, se proporciona un programa informático que comprende instrucciones para hacer que un controlador computarizado lleve a cabo el método de acuerdo con el tercer o cuarto aspectos. El programa informático puede estar grabado en un medio de almacenamiento no transitorio.

#### Descripción detallada

La invención se describe a continuación con más detalle, a modo de ejemplo y con referencia a los dibujos adjuntos, de los que:

20 La Figura 1 es un diagrama esquemático que ilustra tres tipos diferentes de errores de posicionamiento en un brazo robótico;

La Figura 2 es una vista esquemática en sección de un ejemplo de mordaza unida a una herramienta de perforación;

La Figura 3 es un diagrama esquemático de un ejemplo de sistema de perforación robótico;

25 La Figura 4 es un diagrama de flujo esquemático de un método a modo de ejemplo para operar un taladro robótico en un primer modo;

La Figura 5 es un diagrama de flujo esquemático de un método a modo de ejemplo para operar un taladro robótico en un segundo modo;

La Figura 6 es un diagrama de un sistema de perforación robótico a modo de ejemplo; y

30 La Figura 7 es un diagrama de una mordaza a modo de ejemplo fijada a una herramienta de perforación de un taladro robótico.

Las Figuras 1a), 1b) y 1c) muestran un brazo robótico 100, que ilustra diferentes fuentes de inexactitud posicional, como se ha descrito en la sección de antecedentes anterior.

35 La Figura 2 es un dibujo esquemático de un ejemplo de mordaza 200 configurada para unirse a una herramienta de perforación 201 de un taladro robótico, que puede comprender, por ejemplo, un brazo robótico del tipo mostrado en la Figura 1. La mordaza 200 comprende una parte de unión 220 para su unión a la herramienta de perforación 201, y un marco 202 que se puede mover linealmente con respecto a la parte de unión 220 a lo largo de un eje central 203 de la herramienta de perforación 201, es decir, a lo largo de un eje de rotación de una broca 204 unida a la herramienta de perforación 201. La herramienta de perforación 201 está configurada para perforar una pieza de trabajo accionando la broca 204 a lo largo del eje central 203 en la dirección indicada por la flecha 221.

40 La mordaza 200 comprende un mecanismo de accionamiento que comprende un servomotor 205 configurado para accionar el movimiento lineal del marco 202 con respecto a la parte de unión 220, es decir, con respecto a la herramienta de perforación 201. Una parte de contacto con la pieza de trabajo 206 en un extremo distal 207 del marco 202 comprende una superficie 208 para entrar en contacto con la superficie de la pieza de trabajo a perforar y una abertura 209 que permite el paso de la broca 204 a través de la superficie de la pieza de trabajo.

Un sensor de fuerza 210 está dispuesto para medir la fuerza que actúa sobre la parte de contacto con la pieza de trabajo 206 en la dirección de perforación. El sensor de fuerza 210 puede, por ejemplo, formar parte de la parte de contacto con la pieza de trabajo 206 o puede estar dispuesto en otro lugar del marco 200 o de la parte de unión 220

para medir una fuerza que actúa a lo largo del eje central 203 entre la pieza de trabajo y la herramienta de perforación 201.

La parte de contacto con la pieza de trabajo 206 puede tener una superficie antideslizante 208 para entrar en contacto con la pieza de trabajo.

5 El marco 202 en el ejemplo de la Figura 2 generalmente tiene forma de C, con un par de brazos 211a, 211b que se extienden en la dirección de perforación a cada lado del eje central 203 y una pieza de extremo distal 212 que se extiende entre el par de brazos 211a, 211b. Los brazos 211a, 211b y la pieza de extremo distal 212 pueden ser de construcción unitaria, por ejemplo, pueden estar formados por una sola pieza de metal, para aumentar la rigidez y evitar la distorsión del marco 202 durante el uso. También pueden ser posibles otras formas, y el marco 202 puede tener más de dos brazos 211a, 211b.

10 El servomotor 205 acciona cada uno de los brazos 211a, 211b del marco 202 accionando las respectivas varillas 213a, 213b que se extienden a lo largo de cada brazo 211a, 211b. Una polea o correa de sincronización 214 se extiende entre el par de brazos 211a, 211b a través de la sección de extremo distal 212, lo que permite sincronizar la rotación de las varillas 213a, 213b, de modo que el marco 202 se mueve en una dirección lineal uniforme a lo largo del eje central 203, aplicando así una fuerza sobre la pieza de trabajo paralela a la dirección de perforación.

15 Se puede proporcionar una pluralidad de elementos de referencia 215, que se pueden unir a la parte de la mordaza que está asegurada a la herramienta de perforación 201, es decir, la parte de unión 220, para permitir que un sistema de metrología determine la ubicación de la herramienta de perforación 201, que se describe con más detalle a continuación. Por lo general, se requerirán al menos tres elementos de referencia 215 para permitir determinar una ubicación y orientación precisas en un espacio tridimensional.

20 La Figura 3 ilustra esquemáticamente un ejemplo de sistema de perforación robótico 300. El sistema 300 comprende un taladro robótico 301 que comprende una herramienta de perforación 201, a la que está unida una mordaza 200 del tipo descrito anteriormente. Se proporciona un soporte de pieza de trabajo 302 para sujetar una pieza de trabajo (no mostrada) que se va a mecanizar. Un controlador 303 está conectado al taladro robótico 301 para controlar el taladro robótico 301 y la mordaza 200. El controlador 303 acciona el taladro robótico 301 para poner en contacto la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo 208 (Figura 2) con la superficie de una pieza de trabajo que se va a mecanizar y acciona el servomotor 205 de la mordaza 200 para accionar la mordaza 200 sobre la pieza de trabajo mientras mide una fuerza del sensor de fuerza 206 hasta que se alcanza una fuerza predeterminada. El controlador 303 puede entonces operar la herramienta de perforación 201 para perforar un orificio en la pieza de trabajo.

30 El sistema 300 puede comprender un sistema de metrología para medir una posición de la herramienta de perforación 201 con respecto a la pieza de trabajo que se va a mecanizar. El sistema de metrología comprende una primera pluralidad de elementos de referencia 215 en el taladro robótico 301, específicamente en la parte de la mordaza 200 que está unida a la herramienta de perforación 201, es decir, la parte de unión 220, y una segunda pluralidad de elementos de referencia 315 en el soporte de pieza de trabajo 302. Cada pluralidad de elementos de referencia 215, 315 comprende al menos tres elementos de referencia para permitir el posicionamiento y la orientación precisos del soporte de pieza de trabajo 302 y la herramienta de perforación 201 en un espacio tridimensional uno con respecto al otro. Los elementos de referencia 215, 315 pueden ser, por ejemplo, elementos emisores de luz, por ejemplo diodos emisores de luz. Se puede disponer una pluralidad de elementos detectores de luz 304 para recibir luz de cada uno de los elementos emisores de luz 215, 315, cuyas señales son recibidas por una unidad de control de metrología 305. La unidad de control de metrología 305 también controla el funcionamiento de los elementos emisores de luz 215, 315. La unidad de control de metrología 305 puede proporcionar información de posición a un ordenador 306, que también se comunica con el controlador 303.

35 Aunque el controlador 303, el ordenador 306 y la unidad de control de metrología 305 se ilustran como componentes separados en la Figura 3, estos componentes pueden estar contenidos en, o considerarse que son, un único controlador, o puede considerarse que un controlador está distribuido entre los diferentes componentes funcionales 303, 306, 305.

40 El sistema de metrología permite que el sistema de perforación robótico 300 mida las ubicaciones relativas de la herramienta de perforación 201 y del soporte de pieza de trabajo 302, permitiendo así que el controlador 303 compense cualquier diferencia en la ubicación de la herramienta de perforación 201 después del accionamiento de la mordaza 200 antes de una operación de perforación. Esto se puede llevar a cabo, por ejemplo, durante cada operación de perforación o se puede llevar a cabo antes de realizar cualquier operación de perforación en una pieza de trabajo.

45 La Figura 4 es un diagrama de flujo esquemático que ilustra un método de funcionamiento del sistema 300 en un primer modo, en el que se mide y determina una desviación para cada una de una pluralidad de ubicaciones de perforación predeterminadas en una pieza de trabajo. En una primera etapa 401, el taladro robótico es accionado para poner en contacto la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza con la pieza de trabajo que se va a mecanizar. En una segunda etapa 402, se mide una primera posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo utilizando el sistema de metrología. En una tercera etapa 403, el

servomotor es accionado para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo que se va a mecanizar, mientras se mide la fuerza desde el sensor de fuerza hasta que se alcanza una fuerza predeterminada. En una cuarta etapa 404, se mide una segunda posición de la herramienta de perforación con respecto a la pieza de trabajo utilizando el sistema de metrología. En una quinta etapa 405, se determina una desviación a partir de la diferencia entre la primera y la segunda posiciones medidas. En una sexta etapa 406, la desviación determinada se almacena para la ubicación predeterminada. El método se puede repetir entonces para otras ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo hasta que se hayan cubierto todas las ubicaciones para las operaciones de perforación.

En un segundo modo de funcionamiento, el controlador puede realizar el método descrito en la Figura 5. En una primera etapa 501, se recupera una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar. En una segunda etapa 502, el taladro robótico es accionado para entrar en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo de la mordaza en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada. En una tercera etapa 503, el servomotor es accionado para accionar la mordaza sobre la pieza de trabajo, mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza hasta que se alcanza una fuerza predeterminada. En una cuarta etapa 504, la herramienta de perforación se hace funcionar para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo. El método se puede repetir entonces hasta que se hayan cubierto todas las ubicaciones de perforación.

La posición de la herramienta de perforación puede continuar midiéndose durante el segundo modo de operación, que se puede utilizar para actualizar una desviación almacenada para la ubicación predeterminada.

El segundo modo de funcionamiento se puede llevar a cabo por separado del primer modo, es decir, con la desviación almacenada para cada ubicación predeterminada que se ha determinado previamente.

El sistema de metrología óptica puede funcionar localizando la posición de múltiples LED en la herramienta de perforación 201 y en el soporte de pieza de trabajo 302, de modo que cuando el taladro robótico 301 realiza una operación de perforación, el sistema de metrología óptica permite que la herramienta de perforación perfora un orificio en la pieza de trabajo con un mayor grado de precisión de lo que sería posible utilizando codificadores posicionales solo en el taladro robótico. El sistema de metrología óptica puede tener, por ejemplo, una precisión posicional de alrededor de 0,1 mm con respecto a una posición objetivo nominal. El controlador puede utilizar la desviación entre una posición abierta y una posición sujeta para predecir qué desviación o compensación aplicar al taladro robótico para futuras operaciones de perforación. Se pueden incorporar múltiples mediciones de desviación en un algoritmo de aprendizaje automático para predecir una desviación que se utilizará en un sistema de perforación robótico.

La Figura 6 es un dibujo que indica varias partes componentes de un ejemplo de sistema de perforación robótico 600, que incluye un taladro robótico 601 con un marco de herramientas 602 que comprende una herramienta de perforación y una mordaza del tipo descrito anteriormente. El taladro robótico 601 está montado en un marco base de robot 603 que está asociado con un origen de sistema robótico 604. Una pieza de trabajo 605 a mecanizar está montada en un soporte de pieza de trabajo 606, que puede estar unido al marco base de robot 603. En funcionamiento, el marco de herramienta robótico 602 se mueve desde el origen de sistema 604 hasta un objetivo 607, que se puede determinar mediante un modelo CAD 3D en relación con un origen 608 de la pieza de trabajo 605 o del soporte de pieza de trabajo 606. El funcionamiento del taladro robótico 601 puede entonces ser como se describió anteriormente.

La Figura 7 ilustra un ejemplo más detallado de una mordaza unida a una herramienta de perforación 700 de un taladro robótico 701, teniendo la mordaza la forma general mostrada en la Figura 2 y descrita anteriormente. La mordaza comprende un mecanismo servoaccionado electromecánico 702 para una sujeción de alta precisión, y tiene una superficie antideslizante 703 en la «nariz» de la mordaza, o parte de contacto con la pieza de trabajo. Un sistema de retroalimentación de fuerza integrado 704 permite accionar el servo hasta que se alcance la fuerza deseada. Los rieles lineales 705 con una polea o correa de sincronización garantizan que se aplique fuerza a la estructura, es decir, a la pieza que se va a mecanizar, que está en el centro de la nariz de la mordaza y no está compensada, lo que puede amplificar cualquier deslizamiento. Un marco rígido en forma de C 706 está diseñado para evitar la distorsión, la deflexión y el deslizamiento de la nariz de la mordaza.

Otras realizaciones están intencionadamente dentro del alcance de la invención tal como se define en las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Una mordaza (200) configurada para unirse a una herramienta de perforación (201) de un taladro robótico, comprendiendo la mordaza (200):
  - una parte de unión (220) configurada para unirse a la herramienta de perforación (201);
- 5        un marco (202) que se puede mover linealmente con respecto a la parte de unión (220) a lo largo de un eje central (203) de la mordaza (200) concéntrico con la dirección de perforación (221) de la herramienta de perforación (201);
  - un mecanismo de accionamiento que comprende un servomotor (205) configurado para accionar el movimiento lineal del marco (202) con respecto a la herramienta de perforación (201);
- 10       una parte de contacto con la pieza de trabajo (206) en un extremo distal (207) del marco (202) comprende una superficie (208) para entrar en contacto con la superficie de la pieza de trabajo a perforar y una abertura (209) que permite el paso de la broca (204) de la herramienta de perforación (201) a través de la superficie de la pieza de trabajo; y
- 15       un sensor de fuerza (210) dispuesto para medir la fuerza que actúa sobre la parte de contacto con la pieza de trabajo (206) en la dirección de perforación (221),
  - en donde el marco (202) tiene un par de brazos (211a, 211b) que se extienden en la dirección de perforación (221) a cada lado del eje central (203) y una pieza de extremo distal (212) que se extiende entre el par de brazos (211a, 211b),
- 20       caracterizada por que el servomotor (205) está configurado para accionar cada uno de los brazos (211a, 211b) del marco (202) mediante la rotación de las varillas respectivas (213a, 213b) que se extienden a lo largo de cada brazo (211a, 211b).
2. La mordaza (200) de la reivindicación 1, en donde la parte de contacto con la pieza de trabajo (206) tiene una superficie antideslizante (208) para entrar en contacto con la superficie de la pieza de trabajo.
3. La mordaza (200) de la reivindicación 1, en donde los brazos (211a, 211b) y la pieza de extremo (212) son de construcción unitaria.
- 25       4. La mordaza (200) de la reivindicación 1, que comprende una polea o correa de sincronización (214) que se extiende entre el par de brazos (211a, 211b) dispuesta para sincronizar la rotación de las varillas (213a, 213b).
5. Un sistema de perforación robótico (300), que comprende:
  - un taladro robótico (301) que tiene una herramienta de perforación (201);
- 30       un soporte de pieza de trabajo (302) para sujetar una pieza que va a ser mecanizada;
  - una mordaza (200) de acuerdo con cualquier reivindicación anterior unida a la herramienta de perforación (201); y
  - un controlador (303) conectado y dispuesto para controlar el taladro robótico (301) y la mordaza (200),
    - en donde el controlador (303) está configurado para:
- 35       accionar el taladro robótico (301) para entrar en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de la mordaza (200) con una pieza de trabajo a mecanizar;
  - accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (210) hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y
  - operar la herramienta de perforación (201) para perforar un orificio en la pieza de trabajo.
- 40       6. El sistema de perforación robótico (300) de la reivindicación 5, que comprende además un sistema de metrología (215, 315, 304, 305) para medir la posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo que se va a mecanizar, comprendiendo el sistema de metrología una primera pluralidad de elementos de referencia (215) ubicados en el taladro robótico (301) y una segunda pluralidad de elementos de referencia (315) ubicados en el soporte de pieza de trabajo (302).
- 45       7. El sistema de perforación robótico (300) de la reivindicación 6, en donde el controlador (303) está configurado para recibir señales procedentes de la primera y/o segunda pluralidad de elementos de referencia (215, 315) para determinar una posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo, en donde el sistema de metrología es un sistema de metrología óptica, y la primera y la segunda pluralidad de elementos de



referencia (215, 315) comprenden emisores ópticos, comprendiendo el sistema de metrología una pluralidad de sensores ópticos (304) dispuestos para determinar una posición de la herramienta de perforación (201) con respecto al soporte de pieza de trabajo (302) en función de las señales recibidas por los sensores ópticos (304) desde la primera y segunda pluralidad de emisores ópticos (215, 315).

- 5 8. El sistema de perforación robótico (300) de cualquiera de las reivindicaciones 5 a 7 en donde en un primer modo, el controlador (303) está configurado para:

accionar el taladro robótico (301) para entra en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de la mordaza (200) con una ubicación predeterminada en la pieza de trabajo a mecanizar;

- 10 medir una primera posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (206) hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

medir una primera posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo con el sistema de metrología;

- 15 determinar una desviación a partir de la diferencia entre la primera y la segunda posiciones medidas; y

almacenar la desviación determinada para la ubicación predeterminada,

en donde el controlador (303) está configurado para determinar y almacenar una desviación para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

- 20 9. El sistema de perforación robótico de cualquiera de las reivindicaciones 5 a 8, en donde en un segundo modo, el controlador (303) está configurado para:

recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

accionar el taladro robótico (201) para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de la mordaza (200) en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

- 25 accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (206) hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

operar la herramienta de perforación (201) para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo,

- 30 en donde el controlador (303) está configurado para medir una posición de la herramienta de perforación (201) después de accionar el servomotor (205) y para actualizar la desviación almacenada para la ubicación predeterminada.

10. Un método implementado por ordenador para operar un taladro robótico (301), cuyo método comprende, en un primer modo:

- 35 generar órdenes para accionar el taladro robótico (301) para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de una mordaza (200) según la reivindicación 1 unida a una herramienta de perforación (201) del taladro robótico (301) con una ubicación predeterminada en la pieza de trabajo que se va a mecanizar;

recibir datos de medición representativos de una primera posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo con un sistema de metrología;

- 40 generar órdenes para accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (206) hasta que se alcance una fuerza predeterminada;

recibir datos de medición representativos de una primera posición de la herramienta de perforación (201) con respecto a la pieza de trabajo con un sistema de metrología;

determinar una desviación a partir de la diferencia entre la primera y la segunda posición medidas; y

- 45 almacenar la desviación determinada para la ubicación predeterminada,

en donde el primer modo se repite para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

11. El método de la reivindicación 10, en donde el método comprende además, en un segundo modo:

recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

generar órdenes para accionar el taladro robótico (301) para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de la mordaza (200) en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

5        generar órdenes para accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (206) hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

generar órdenes para operar la herramienta de perforación (201) para perforar un orificio en la ubicación predeterminada de la pieza de trabajo.

10      12. El método de la reivindicación 11, en donde el segundo modo se repite para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza a mecanizar.

13. Un método implementado por ordenador para operar un taladro robótico (301), comprendiendo el método:

recuperar una desviación almacenada para una ubicación predeterminada de una pieza a mecanizar;

15        generar órdenes para accionar el taladro robótico (301) para que entre en contacto con la superficie de la parte de contacto con la pieza de trabajo (208) de una mordaza (200) según la reivindicación 1 unida a una herramienta de perforación (201) del taladro robótico (301) en la ubicación predeterminada compensada por la desviación recuperada;

generar órdenes para accionar el servomotor (205) para accionar la mordaza (200) sobre la pieza de trabajo mientras se mide la fuerza del sensor de fuerza (206) hasta que se alcance una fuerza predeterminada; y

20        generar órdenes para operar la herramienta de perforación (201) para perforar un orificio en la ubicación predeterminada en la pieza de trabajo.

14. El método de la reivindicación 13, en donde el método se repite para una pluralidad de ubicaciones predeterminadas en la pieza de trabajo.

15. Un programa informático que comprende instrucciones para hacer que un controlador computarizado lleve a cabo el método según cualquiera de las reivindicaciones 10 a 14.

25

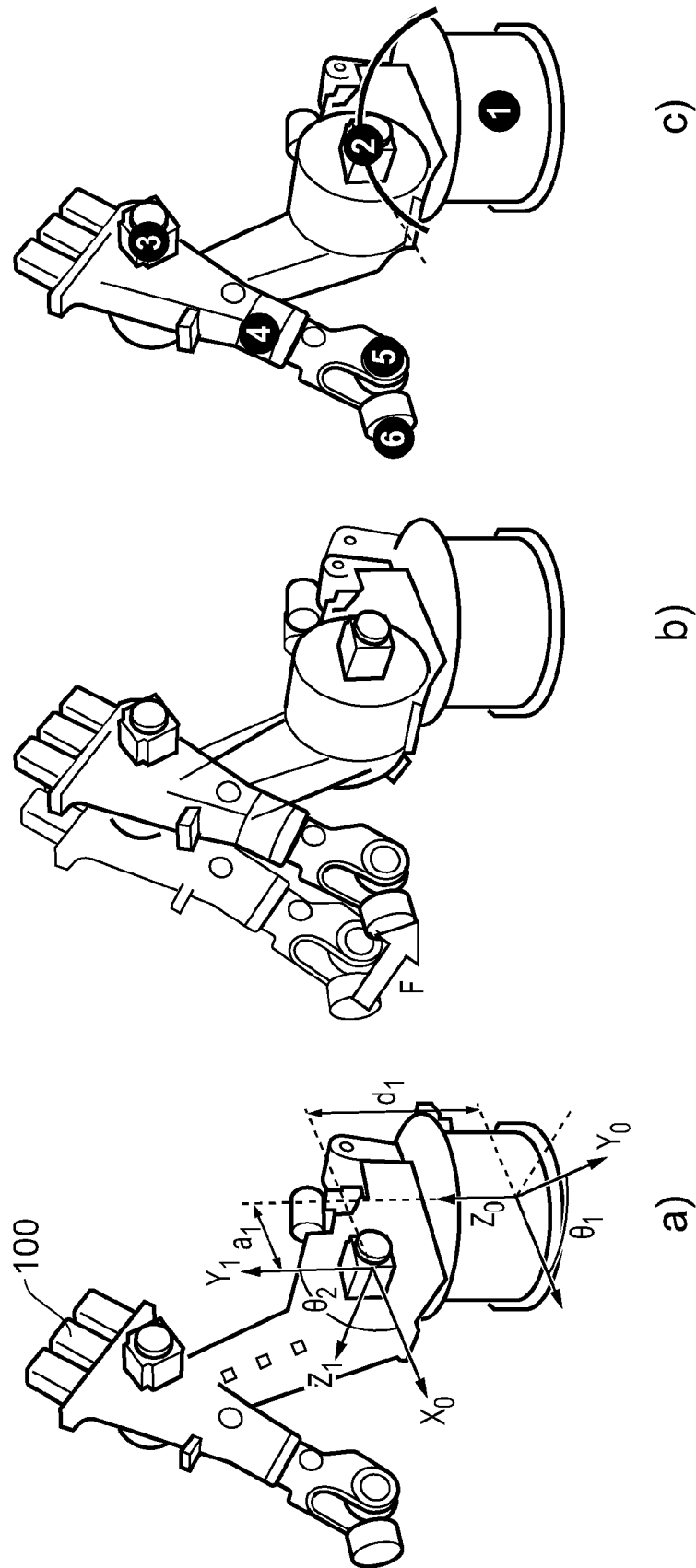


FIG. 1

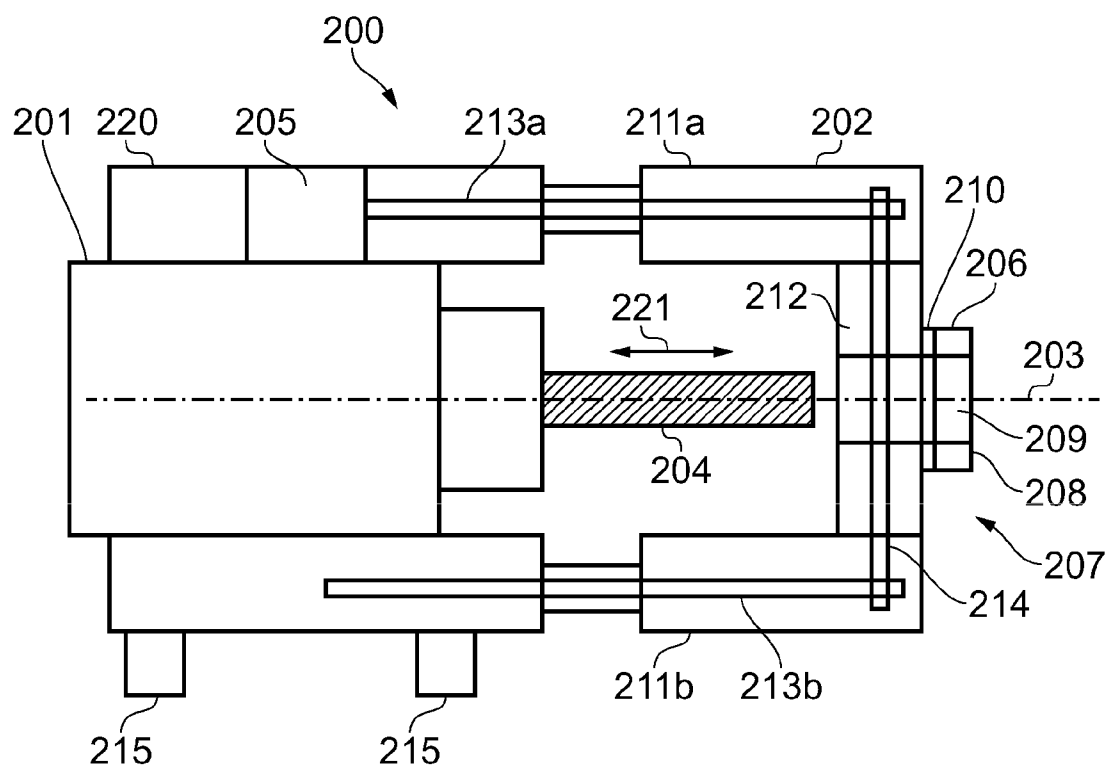


FIG. 2

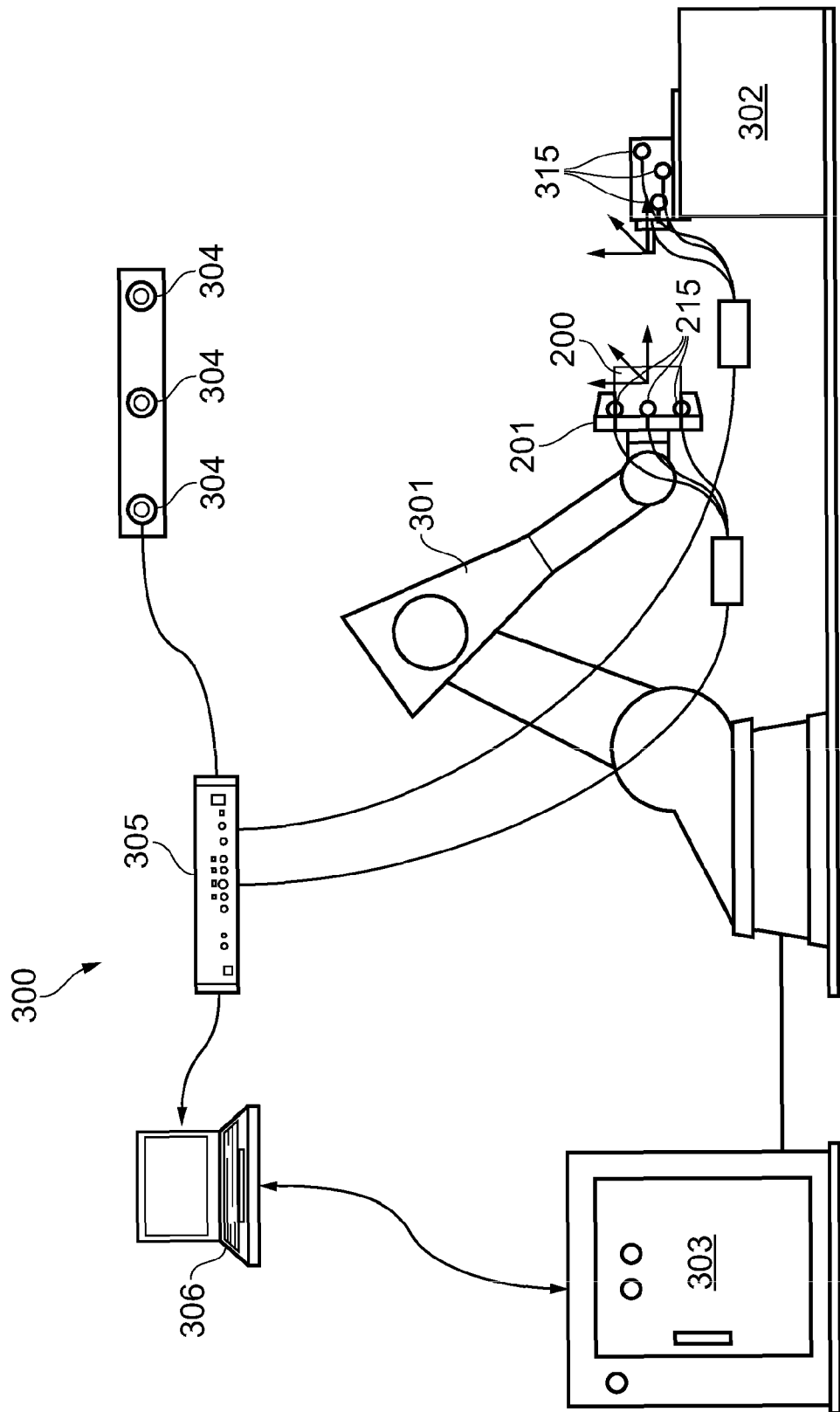


FIG. 3

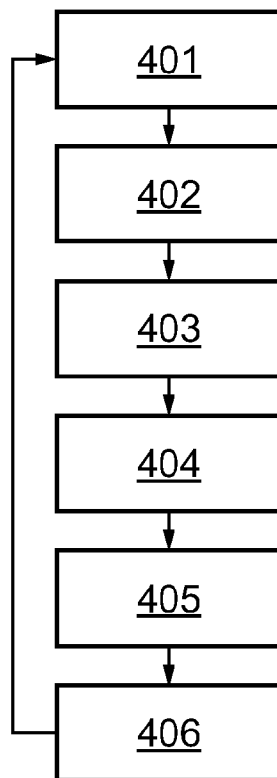


FIG. 4

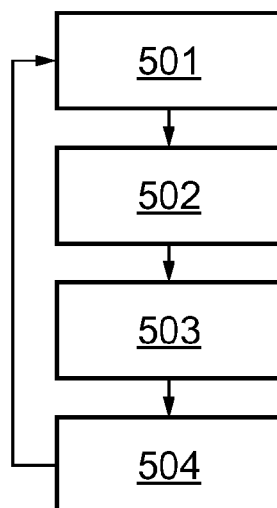


FIG. 5

