(19) OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

(11) Número de publicación: **2 943 982**

(51) Int. CI.:

***B23P 19/06*** (2006.01)
***B23P 19/00*** (2006.01)
***B25J 11/00*** (2006.01)
***B25J 15/00*** (2006.01)
***B25B 23/10*** (2006.01)

(12) TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA T3

(96) Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.02.2021 E 21155709 (5)**

(97) Fecha y número de publicación de la concesión europea: **22.03.2023 EP 4039405**

(54) Título: **Un aparato destornillador para un brazo robótico, un método de operación de un aparato destornillador y un producto de programa de ordenador capaz de ser instalado en un controlador de brazo robótico**

(45) Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
**16.06.2023**

(73) Titular/es:

**OPTIMO ROBOTICS OÜ (100.0%)**
**Allika tee 1, Rae parish, Harju county**
**Peetri 75312, EE**

(72) Inventor/es:

**VILIST, MARTIN y**
**VAIT, HARTI**

(74) Agente/Representante:

**SÁEZ MAESO, Ana**

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

Un aparato destornillador para un brazo robótico, un método de operación de un aparato destornillador y un producto de programa de ordenador capaz de ser instalado en un controlador de brazo robótico

Antecedentes

Campo de la invención

La invención se relaciona con un aparato destornillador según el preámbulo de la reivindicación 1. Un ejemplo de tal aparato se divulga por US 5 469 924 A.

La invención se relaciona también con un método para operar un aparato destornillador y con un producto de programa de ordenador capaz de ser instalado en un controlador de brazo robótico y de controlar un destornillador robótico.

Descripción de técnica relacionada

Los robots industriales se usan para procesos de fabricación automatizados. Son programables y son capaces de movimiento en tres o más ejes. Las aplicaciones típicas de robots incluyen soldadura, pintura, ensamblaje, desensamblaje, empaquetamiento, etiquetado y prueba. Tienen alta resistencia, velocidad y precisión. Las configuraciones de robots más comúnmente usadas son robots articulados en la forma de brazos robóticos. Los enlaces de un brazo robótico están conectados por juntas que permiten ya sea movimiento de rotación (tal como en un robot articulado) o desplazamiento de traslación (lineal). Los enlaces del brazo forman una cadena cinemática y el terminal se denomina el reborde de herramienta. A menudo un fabricante produce un brazo de robot genérico que luego se personaliza para una aplicación particular.

El ensamblaje de productos complejos y delicados tales como ordenadores a menudo usa brazos robóticos en el proceso de producción debido a que la velocidad y precisión alcanzable con un robot pueden superar las de un operario humano. Un accesorio de brazo de robot particularmente útil a este respecto es un destornillador para instalar y apretar tornillos. La velocidad y precisión de tales dispositivos es un factor limitante en la línea de producción, por lo que cualquier mejora en la velocidad a la cual la cabeza de destornillador se puede mover a la siguiente ubicación tiene un efecto directo en la capacidad de producción de un fabricante. Sin embargo, en los últimos años, a medida que los productos se han vuelto ultracompactos y livianos, se han usado materiales relativamente blandos tales como aluminio y plástico, lo cual aumenta la necesidad de precisión en el apriete de tornillos, ya que cualquier desalineación o apriete excesivo puede destruir el producto que se ensambla. Los dispositivos de apriete de tornillos convencionales tales como los divulgados en el documento JP2017109259 intentan abordar este problema empleando un mecanismo de retroalimentación para detectar la fuerza sobre el tornillo y controlar una fuerza de frenado aplicada al dispositivo para hacerlo más grande que el peso de la herramienta. Sin embargo, esto todavía requiere colocar al menos alguna fuerza contra el tornillo que se instala, lo cual todavía tiene el potencial de dañar el producto que ensambla. El documento US2012/0067711 describe un ensamblaje de sujeción de tornillos robótico que mide las posiciones relativas de un tornillo contra una superficie de colocación y la superficie de pieza de trabajo desconocida para eliminar errores de medición y determinar si el tornillo está flojo. El tornillo todavía se inserta usando la aplicación convencional de torque. Se usa un mecanismo de retroalimentación de evaluación de torque para controlar la inserción de tornillo y este torque podría dañar la pieza de trabajo.

Por lo tanto es un objeto de la presente invención proporcionar un accesorio de destornillador independiente para un brazo robótico que no dañe el producto que se ensambla.

Resumen de la invención

La invención proporciona un aparato destornillador según la reivindicación 1, un método de operación de un aparato destornillador del tipo reivindicado en las reivindicaciones 1 a 10 según la reivindicación 11 y un producto de programa de ordenador capaz de ser instalado en un controlador de brazo robótico y de controlar un sistema de destornillador robótico para provocar la realización del método de la reivindicación 11 según la reivindicación 12.

Características preferidas opcionales están definidas por las reivindicaciones dependientes.

Breve descripción de los dibujos

La figura 1 es una representación de un brazo robótico genérico.

La figura 2 representa un accesorio de destornillador para un brazo robótico de acuerdo con una realización de la invención.

La figura 3 es una representación del accesorio de destornillador de la figura 2 en un brazo robótico del tipo que se muestra en la figura 1.

La figura 4a es un diagrama en sección transversal de la realización del accesorio de destornillador de la figura 2.

La figura 4b es un diagrama en sección transversal de las mordazas del accesorio de destornillador de la realización de la figura 2.

La figura 4c es una vista inferior de la pinza de tornillo del accesorio de destornillador de la realización de la figura 2.

La figura 4d es una vista lateral de un tornillo típico para uso en una realización de la invención.

La figura 4e es una vista superior del tornillo que se muestra en la figura 4d.

La figura 4f es una vista en sección transversal de las mordazas de una realización con un tornillo en su lugar.

La figura 4g es una vista en sección transversal de la punta de herramienta de una realización acoplada con la cabeza de un tornillo en su lugar en las mordazas.

La figura 5 es un diagrama esquemático que muestra los elementos del sistema de control de una realización del accesorio de destornillador.

La figura 6a es un diagrama en sección transversal que muestra las mordazas de una realización en una posición abierta y la punta de herramienta acoplada con la cabeza del tornillo justo antes de la instalación del tornillo.

La figura 6b es un diagrama en sección transversal que muestra las mordazas abiertas y la punta de herramienta acoplada con la cabeza del tornillo después de la instalación del tornillo.

Descripción detallada de la realización preferida

El accesorio de destornillador de acuerdo con una realización de la invención permite una instalación altamente precisa y rápida de tornillos sin aplicar ninguna fuerza en una dirección axial en el propio tornillo. También es posible aplicar una fuerza controlada al tornillo a medida que se instala. Esto, en combinación con el uso de servomotores rápidos y precisos permite el ensamblaje rápido de partes delicadas y también una característica de seguridad que permite un uso para trabajar de cerca con el accesorio.

Un brazo robótico típico se muestra en la figura 1. El brazo 100 tiene una base 101 para montar el brazo sobre una superficie 1000. La base 101 tiene una junta 101 de base que permite el movimiento giratorio entre la base y una junta 102a de hombro. La junta 102a de hombro está unida a un primer enlace 102. Un segundo enlace 103 está conectado de manera giratoria al otro extremo del primer enlace 102 por una junta 103a de codo. En el otro extremo del segundo enlace 103 hay una muñeca 104 que tiene una primera junta 104a, segunda junta 104b y tercera junta 104b. Un reborde 105 de herramienta está conectado a la muñeca. El reborde de herramienta tiene seis grados de movimiento debido a las juntas. A veces el reborde de herramienta se conoce como el $6^{to}$ eje del brazo robótico. El reborde 105 de herramienta es una interfaz mecánica a la cual se puede unir equipo adicional. Los servomotores internos dentro de las juntas crean un movimiento controlado del brazo robótico y permiten que el reborde 105 de herramienta se mueva a cualquier punto en el espacio alrededor del brazo de robot dentro de su rango. El brazo robótico es operado por software de control que se ejecuta en hardware. Cuando se instala el brazo de robot, la posición de un punto central en su base $P_B$ se registra como un conjunto de 6 valores; las 3 coordenadas dimensionales, (x, y, z) más 3 valores que determinan la orientación del plano de la base; paso, guiñada y balanceo. El brazo de robot podría montarse en una pared u otra superficie no horizontal. $P_B$ es un punto de referencia contra el cual se toman todas las otras posiciones. Los servomotores que controlan el brazo tienen codificadores que emiten un valor absoluto por lo que las coordenadas exactas $P_E$ del reborde de herramienta siempre se conocen. El hardware se puede integrar en el brazo o se puede unir un ordenador externo para ejecutar el software.

La figura 2 muestra una realización de un accesorio 200 de destornillador para un brazo robótico. El accesorio 200 de destornillador comprende una sección de cuerpo que contiene motores de control y otro hardware de control dentro de un alojamiento 201. El accesorio 200 de destornillador tiene una sección 202 de herramienta inferior que está dispuesta para manipular e instalar tornillos. Se proporciona un tubo 203 de alimentación que se puede conectar a un sistema de alimentación de tornillo adecuado, tal como un sistema neumático alimentado con aire. Los sistemas de alimentación de tornillo son conocidos en la técnica. Un cable 204 proporciona un enlace a una interfaz de programación y control de destornilladores. Las coordenadas x y y definen un plano mientras que la dirección z es perpendicular al plano x/y. La sección de herramienta está alineada con la dirección z.

Los accesorios de destornilladores convencionales se basan en retroalimentación desde los servomotores del brazo robótico para establecer cuánta fuerza está siendo aplicada en la dirección z. Esto significa que el destornillador y el brazo robótico deben poder comunicarse entre sí, lo cual aumenta la complejidad de integrar estas dos unidades, ya que un usuario necesitaría conocer un nivel profundo de programación para ambos sistemas. El problema se complica debido a que a menudo, diferentes fabricantes producen el accesorio de destornillador y el brazo robótico.

En la presente invención, este problema se supera dando toda la responsabilidad de fuerza de dirección z al accesorio 200 de destornillador. La responsabilidad de posicionar la herramienta en el lugar correcto pertenece al brazo 100 robótico.

La figura 3 muestra una realización del accesorio 200 de destornillador robótico instalado en un brazo 100 robótico. El destornillador 200 está unido al reborde 105 de herramienta del brazo 100 robótico. El destornillador 200 está conectado electrónicamente a un controlador 301 de destornillador por cable 302. Un controlador 303 de brazo de robot está conectado por un cable 304 de LAN. El controlador 303 de brazo de robot tiene una interfaz 305 de usuario. Se proporciona un alimentador 306 de tornillo neumático estándar para alimentar tornillos al destornillador 200. El controlador 301 de destornillador controla el alimentador 306 de tornillo y están conectados entre sí por el cable 307. El destornillador 200 tiene un sensor que puede detectar cuando ha llegado un tornillo; se puede instruir al alimentador 306 que reenvié un tornillo si no llega uno por algún motivo, o se puede enviar una señal de alarma al controlador de destornillador si fallan intentos repetidos de enviar un tornillo. La comunicación entre el alimentador 306 y el destornillador 200 es a través del cable 308.

La figura 4a muestra los componentes de una realización del accesorio de destornillador robótico. Los componentes están ubicados dentro del alojamiento 201. Se proporciona una herramienta 401, que comprende una punta 402 de herramienta y un árbol 403. La punta 401 de herramienta tiene caras planas y una sección transversal hexagonal y está dispuesta para acoplarse con la cabeza de un tornillo que va a ser insertado. El árbol 403 tiene un eje alrededor del cual gira y este eje define la dirección z. El árbol 403 está conectado a un motor 404 de herramienta. En esta realización, el motor de herramienta es un servomotor con un torque de salida de entre 0-3.6 Nm, velocidad de rotación de 5000 RPM y una resolución de codificador de 131,072 pulsos por revolución. o más. El motor 404 de herramienta está fijado en un alojamiento que está dispuesto para ser móvil hacia arriba y hacia abajo a lo largo de un riel 405. El servomotor está conectado a un amplificador 404A externo que puede controlar la posición, velocidad y torque del motor 404 de herramienta. El motor 404 de herramienta tiene un codificador giratorio que emite la posición angular absoluta del eje de motor a partir del cual se puede determinar la posición de la punta 402 de herramienta.

El alojamiento de motor de herramienta tiene una abrazadera que soporta una tuerca 406 roscada internamente que se acopla con un árbol 407 roscado externamente, de tal manera que la rotación del árbol 407 roscado hace que el motor de herramienta se mueva verticalmente a lo largo del riel 405 en la dirección z. El árbol 407 roscado es un tornillo de bola con un paso de 10 mm; se pueden usar otros pasos, por ejemplo 6 mm, 8 mm, 12 mm, 14 mm etc. Esta disposición de tuerca y tornillo de rosca empinada de hélice alta permite un ajuste rápido de cargas pequeñas debido a que una única vuelta hace que la tuerca recorra una distancia relativamente larga a lo largo de la rosca.

El árbol 407 roscado está conectado a un motor 408 de dirección z. El motor 408 de dirección z es un servomotor similar al motor 404 de herramienta pero se requiere tener un torque en el rango 0.2-0.4 Nm. La combinación de un servomotor de alto rendimiento, es decir alta velocidad y alta precisión, con un tornillo de avance de paso alto permite que la posición de la herramienta se mueva en grandes distancias rápidamente pero con una precisión muy alta. El motor 408 de dirección z tiene un codificador giratorio que emite la posición angular absoluta del eje de motor y por tanto la posición angular del árbol 407 roscado. El codificador también está habilitado para contar el número absoluto de vueltas del eje, de tal manera que siempre se conoce la posición de la tuerca 406 en el árbol y de manera correspondiente la posición de la punta 402 de herramienta en la dirección z, $Z_T$, siempre se conoce. Para el tipo de motor de dirección z especificado anteriormente, su codificador tiene una resolución de 131,072 pulsos por revolución. El árbol roscado tiene un paso de 10 mm por vuelta, por lo tanto la posición de la punta de herramienta puede controlarse y medirse con una precisión de alrededor de +/- 0.05 mm. El motor de dirección z tiene una velocidad de 5000 RPM. El árbol roscado es 290 mm en longitud, por lo tanto tomaría 50 vueltas para la tuerca 406 recorrer desde un extremo del tornillo de avance al otro. Por lo tanto la punta de herramienta se puede elevar desde su posición más baja a su posición más alta en poco menos de 1 segundo.

La herramienta 401 es móvil dentro de un tubo 409 de alojamiento de tornillo que se extiende por debajo del alojamiento 201 principal. La longitud del tubo 409 de alojamiento de tornillo se selecciona en relación con la accesibilidad requerida para la herramienta 401. Se proporciona un tubo 409a de alimentación de tornillo hacia la parte superior del tubo 408 de alojamiento de herramienta. La punta 402 de herramienta es retráctil al operar el servomotor 408 de dirección z por encima de la entrada del tubo de alimentación de tornillo de tal manera que un tornillo pueda entrar en el tubo 409 de alojamiento de herramienta. El extremo del tubo 409 de alojamiento de herramienta tiene una pinza 410 de tornillo que es un conjunto de mordazas para evitar que un tornillo que entra en el tubo 409 de alojamiento de tornillo se caiga del extremo antes de que se instale.

La disposición de mordazas se muestra con más detalle en la figura 4b, que es una vista en sección transversal vertical de las mordazas. El tubo de alojamiento termina en una porción de bisagra que soporta dos mordazas, 411a, 411b. El perfil de extremo de cada mordaza es semicircular con una abertura semicircular, de tal manera que cuando las mordazas están cerradas, juntas forman una abertura 412 circular como se muestra en la figura 4c a través de la cual puede sobresalir el extremo de un tornillo. La figura 4c muestra una vista inferior de la pinza de tornillo tomada a lo largo de la línea AA en la figura 4d donde se puede ver la abertura 412 circular. Se muestra una sección transversal de las mordazas en posición cerrada en la figura 4b, con un espacio entre las mordazas $S_j$ lo suficientemente grande para acomodar el diámetro de rosca de un tornillo que va a ser instalado. Cada mordaza tiene un labio 413a, 413b interno que proporciona un estante de cabeza de tornillo sobre el cual puede descansar la cabeza del tornillo que va a ser instalado, antes de la instalación. Las mordazas de la pinza 410 de tornillo están cargadas por resorte y se abren empujando hacia abajo el tornillo. La posición del extremo de las mordazas de la pinza de tornillo, $P_J$, es una coordenada tridimensional y siempre está fija en relación con la posición del reborde de herramienta $P_T$. La posición de las mordazas, $P_J$, proporciona un punto de referencia a partir del cual se miden todas las otras posiciones en el

destornillador. Este punto está fijado con referencia al propio destornillador debido a que está fijado al alojamiento. El punto se mueve en relación con el brazo robótico y por lo tanto el brazo robótico determina la posición de este punto. El brazo robótico está programado para mover este punto a la posición de instalación de tornillo requerida.

La posición de eje z vertical $Z_S$ de los estantes 413a, 413b de cabeza de tornillo se conoce en relación con $P_J$. $Z_S$ es un punto de referencia fijo. La posición de eje z de la punta 402 de herramienta, $Z_T$ se conoce a partir de la información proporcionada por el codificador del motor 408 de eje z y esto es variable.

La figura 4d muestra con más detalle una vista lateral de un tornillo 4001 que va a ser instalado. El tornillo 4001 tiene una cabeza 414 con un rebaje 415 hexagonal para recibir la punta 402 de herramienta de cara hexagonal. Se muestra una vista superior de la cabeza 414 de tornillo en la figura 4e. El tornillo tiene una rosca 416, con un paso conocido $P_S$. La rosca 416 tiene una longitud conocida, $L_T$, entre una punta 417 de rosca de tornillo y el lado 418 inferior de la cabeza 414. La rosca está orientada a lo largo de un eje AA. El eje A' del árbol 403 de herramienta, cuando se acopla con el tornillo, se alinea con este eje AA. Este eje define la dirección z. El rebaje 415 de cabeza de tornillo tiene una profundidad conocida, $L_R$, y la parte inferior del rebaje es una distancia conocida, $L_{HR}$, desde el lado inferior de la cabeza del tornillo. El conocimiento preciso de las dimensiones del tornillo es importante para que la invención funcione debido a que la distancia entre la punta de herramienta y el tornillo se mantiene cuidadosamente durante la instalación del tornillo 4001. Se registran las características de cada tornillo que va a ser instalado. Las características registradas incluyen:

- Paso de tornillo, $P_S$
- Longitud de rosca, $L_T$
- Posición de rebaje, $L_{HR}$

La longitud de la rosca del tornillo $L_T$ se usa para calcular la posición absoluta del extremo del tornillo, $P_{ES}$, que sobresale un poco más allá del extremo de las mordazas. Este saliente proporciona una longitud de partida para que el tornillo se acople con un componente en el cual va a ser instalado el tornillo.

La figura 4f muestra la disposición de mordaza con un tornillo 4001 en su lugar y con la punta 402 de herramienta acoplada, lista para unir juntos dos componentes 4002a, 4002b. Los componentes tienen un orificio pretaladrado y roscado ubicado en una posición conocida $P_H$ en relación con la posición de la base $P_B$ del brazo de robot. La posición del extremo del tornillo $P_{ES}$ se calcula a partir de la posición de las mordazas $P_J$ la longitud de la rosca $L_T$ y la posición del efector de extremo $P_E$ del brazo robótico en relación con su posición base $P_B$ como se muestra en la figura 1.

La figura 4g es un detalle de primer plano de la cabeza 414 del tornillo y la punta 402 de herramienta, donde se define una brecha, G, entre el extremo de la punta de herramienta y la parte inferior del rebaje 415 de cabeza de tornillo. Esta brecha se mantiene durante el proceso de instalación y de este modo la única fuerza aplicada al tornillo es torque por las caras hexagonales de la punta de herramienta que se acoplan con las caras hexagonales del rebaje. Al mantener la brecha, no se aplica ninguna fuerza de dirección z. La brecha entre la punta de herramienta y el tornillo se crea inicialmente controlando la distancia entre la punta de herramienta y un punto en la pinza de tornillo, que podría ser el extremo de las mordazas, $P_J$.

La disposición del controlador 301 de destornillador se muestra esquemáticamente en la figura 5. Un procesador en la forma de controlador lógico programable (PLC) 501 está en comunicación con una unidad 502 de memoria. La unidad 502 de memoria incluye una base de datos para almacenar parámetros que caracterizan el tipo de tornillo que está siendo instalado y para almacenar información relacionada con la instalación de tornillo, incluyendo las posiciones absolutas (coordenadas x, y, z) de los orificios en los cuales deben ser instalados los tornillos y la velocidad a la cual debe ser instalado el tornillo y el torque al cual debe apretarse el tornillo. La información de instalación de tornillo se puede ingresar manualmente o se puede usar un modo de enseñanza, por medio del cual el destornillador se posiciona manualmente y las coordenadas y otros parámetros se aprenden y almacenan de tal manera que la secuencia de operación se pueda automatizar como se describe a continuación.

El PLC 501 está dispuesto para ejecutar una serie de operaciones usando los valores almacenados en la base 502 de datos. El PLC 501 está dispuesto para transmitir instrucciones al amplificador 404A de motor de herramienta y al motor 407A de dirección z. También está dispuesto para transmitir instrucciones al controlador 303 de brazo robótico

Una interfaz 503 que incluye un medio de visualización y entrada de datos está unida al PLC.

En uso, un procedimiento automatizado, una vez programado por el usuario comprendería las siguientes etapas:

1. Iniciación

- El usuario selecciona un tipo de tornillo a través de la interfaz.
- El PLC 501 luego calcula el desplazamiento entre la posición del extremo del tornillo, $P_{ES}$ y el reborde de herramienta.

• El PLC calcula el número de vueltas a proporcionar al motor de dirección z por vuelta de la punta de herramienta, como una función del paso del tornillo.

• El PLC luego envía una señal al amplificador de motor de dirección z para retraer completamente la punta de herramienta y cargar un tornillo desde el alimentador.

• El PLC luego envía una señal al brazo robótico para mover el accesorio de destornillador de tal manera que $P_{ES}$ está en la posición del primer orificio, $P_H$.

2. Instalación

Cuando $P_{ES} = P_H$ , las roscas del tornillo y las roscas del orificio en la pieza 4002a de trabajo están alineadas y listas para acoplar. El PLC 501 envía una señal de control para operar el motor de posición z hasta que la punta 402 de herramienta se acople en el rebaje 415 de cabeza de tornillo dejando una brecha predefinida de 0.1 mm entre el extremo de la punta de herramienta y la parte inferior del rebaje en la cabeza de tornillo. La punta de herramienta luego presiona el tornillo que abre las mordazas, como se muestra en la figura 6a, y el tornillo permanecerá en su lugar, capturado entre la pieza 4002b de trabajo y la punta 402 de herramienta. El PLC luego opera el motor de herramienta y la punta de herramienta se acopla con la cabeza del tornillo para girarlo. A medida que el tornillo gira, se mueve hacia abajo en el orificio roscado del componente, en una distancia igual al paso del tornillo, $Paso_s$ , multiplicado por el número de vueltas, $N_S$, aplicado al tornillo. El PLC opera el motor de dirección z para girar el tornillo de avance en un número correspondiente de vueltas, $N_{LS}$, para mantener la brecha G entre la punta de herramienta y la parte inferior del rebaje en la cabeza de tornillo, o si se requiere que se aplique una fuerza, para mover la punta de herramienta hacia una posición debajo de la cabeza de tornillo. El número de vueltas, $N_{LS}$ aplicadas al tornillo de avance por el motor de dirección z como una función del número de vueltas aplicadas al tornillo, $N_S$, es calculado por el PLC como sigue:

Para que se aplique fuerza cero en la dirección z a lo largo del proceso de instalación de tornillo, el cambio en la coordenada z de la posición de la punta de herramienta, $\Delta zP_T$, debe mantenerse igual al cambio en la coordenada z de la parte inferior del tornillo, $\Delta zP_R$:

$$\Delta zP_T = \Delta zP_R \qquad (1)$$

El cambio en la coordenada z de la parte inferior del rebaje de tornillo, $\Delta zP_R$ , es una función del paso de tornillo, $Paso_S$ , y el número de vueltas aplicadas al tornillo, $N_S$:

$$\Delta zP_R = Paso_S \times N_S \qquad (2)$$

El cambio en la coordenada z de la punta 402 de herramienta, $\Delta zP_T$ es dependiente del paso de tornillo de avance $Paso_{LS}$ y el número de vueltas del tornillo 407 de avance, $N_{LS}$ , aplicado por el motor 408 de dirección z:

$$\Delta zP_T = Paso_{LS} \times N_{LS} \qquad (3)$$

Combinando ecuaciones (2) y (3) en la ecuación (1), el número de vueltas que se debe aplicar al tornillo de avance por el motor 408 de dirección z como una función del número de vueltas que se aplican al tornillo por el motor 404 de herramienta se da como

$$N_{LS} = N_S \times \frac{Paso_S}{Paso_{LS}} \qquad (4)$$

El número de vueltas puede ser un número entero o una parte de un número entero. Por ejemplo, si el paso de tornillo es 0.5 mm y el paso de tornillo de avance es 10 mm, el motor de dirección z debería moverse en 0.05 vueltas (o 6,550 pulsos del codificador para un codificador con una resolución de 131,072 ppr) por cada vuelta del motor de punta de herramienta.

Para un tornillo de 50 mm de longitud y paso de 0.5 mm, el tornillo debe ser girado 100 veces por el motor de herramienta para ser instalado completamente. Para un paso de tornillo de avance de 10 mm, el motor de dirección z debe girar 5 veces al mismo tiempo para que el tornillo se instale completamente sin fuerza cero aplicada en la dirección z. En la figura 6b se muestra un tornillo completamente instalado. El procesador controla la velocidad a la cual se gira el tornillo y el torque al cual se aprieta. El uso de servomotores AC de alta precisión permite que el tornillo se instale rápidamente, con una alta precisión y con fuerza cero en la dirección z.

Se describe a continuación un enfoque alternativo para lograr el objetivo de controlar el movimiento de dirección z de la punta de herramienta de tal manera que siga al tornillo a medida que se instala.

La punta de herramienta inicia a atornillar el tornillo, el motor de dirección z necesita ser operado de tal manera que la punta de herramienta siga al tornillo a medida que se instala el tornillo. El movimiento de la punta de herramienta a lo largo del eje z se efectúa activando un número definido de etapas de codificador a una velocidad dada, calculada como sigue:

Los parámetros definidos por usuario para la operación de atornillado son:

• Longitud de tornillo $L_S$.

• Paso de rosca de tornillo $Paso_S$.

• Número de rotaciones R de la punta de herramienta para instalar completamente el tornillo (= $L_S \times Paso_S$).

• Velocidad de atornillado de punta de herramienta Ss.

• Número de etapas de codificador en 360 grados $E_{360}$.

• Número de etapas de codificador para moverse 1 mm a lo largo del eje Z $Z_E$.

$Z_E = E_{360} \times Paso_{LS}$, debido a que el paso es el número de vueltas por mm, por lo tanto el paso del tornillo de avance, $Paso_{LS}$, da el número de vueltas del tornillo de avance, $N_{LS}$, requerido para moverse a lo largo del eje z en 1 mm.

El tiempo que toma en instalar el tornillo $T_S$ es dado por:

$$T_S = L_S \times Paso_S / S_S$$

La longitud del tornillo se convierte en el número de etapas de codificador $Z_{ES}$ requerido para seguir el tornillo en la dirección z a medida que se atornilla:

$$Z_{ES} = L_S \times Z_E$$

$$Z_{ES} = L_S \times E_{360} \times Paso_{LS}$$

La velocidad requerida para el motor de eje z es luego dada por:

$$S_{LS} = Paso_S \times S_S / Paso_{LS}$$

Esto permite que la punta de herramienta siga al tornillo, mientras que se mantiene una pequeña brecha entre la punta de herramienta y el rebaje de tornillo y por lo tanto aplicar cero presión al tornillo.

También es posible aplicar una cantidad controlada de fuerza al tornillo moviendo la punta de herramienta a una posición ligeramente más baja que la parte inferior del rebaje en el tornillo. La distancia a la que se establece la punta de herramienta por debajo de la posición del tornillo definirá la cantidad de fuerza aplicada al tornillo. Ajustando el punto de partida de la punta de herramienta un poco más abajo en relación con el tornillo, que inicialmente se define en relación con la posición de las mordazas de la pinza de tornillo, $P_J$, la fuerza durante el apriete se aplicará al sujetador en la dirección z. Podría ser requerido por ejemplo si hay una arandela de resorte colocada entre el tornillo y el componente, y se requiere una pequeña cantidad de fuerza para comprimir la arandela. La fuerza también se puede aplicar para corregir defectos en los componentes que se fijan entre sí.

El atornillado se puede llevar a cabo en etapas. La primera etapa involucra la rotación lenta de la punta de herramienta, alrededor de 500 RPM, mientras el tornillo atrapa la rosca en el componente. La segunda etapa es la etapa de rotación principal que puede ser mucho más rápida para atornillar la mayor parte de la rosca, a alrededor de 5,000 RPM. La tercera etapa es de nuevo más lenta, a alrededor de 500 RPM a medida que el tornillo se aprieta al torque requerido, lo cual requiere un movimiento más lento de tal manera que se pueda medir el torque.

3. Repetición

El PLC instruye al motor de dirección z para retraer la punta de herramienta por completo, las mordazas se cierren con resorte y se cargue un nuevo tornillo en su lugar en las mordazas. Al mismo tiempo, el PLC instruye al brazo de robot para mover el accesorio de destornillador a la siguiente posición en la secuencia. El proceso luego es repetido. El control rápido y preciso sobre la posición z de la punta de herramienta permite fuerza cero en la dirección z, pero también se minimiza el tiempo entre cada instalación de tornillo debido a que se puede cargar y poner un nuevo tornillo en su lugar mientras el brazo robótico se está moviendo.

El tornillo puede tener un rebaje en su cabeza que es en forma de cruz o un canal plano y la punta de herramienta tendría una conformación correspondiente.

Se pueden acomodar tornillos de tamaño diferente simplemente cambiando la herramienta 401, como se muestra en la figura 7. La herramienta 401 incluye el alojamiento 409 de tornillo, el ensamblaje 410 de mordaza y la entrada 701 de alimentación de tornillo. La herramienta 401 se une al alojamiento 201 de destornillador mediante una pestaña 702 sobresaliente.

**REIVINDICACIONES**

1. Aparato (200) destornillador para un brazo (100) robótico, siendo el aparato adecuado para instalar tornillos (4001) de un paso conocido en un componente (4002a, b), comprendiendo el aparato;

una herramienta (401) de accionamiento de tornillo que tiene un árbol (403) giratorio alrededor de un eje central, teniendo el árbol un extremo distal con una punta (402) adecuada para acoplar con un tornillo, teniendo el árbol además un extremo proximal conectado tanto a un aparato (404) de rotación de herramienta y un aparato (408) de movimiento lineal de herramienta,

en donde el aparato (404) de rotación de herramienta está dispuesto para girar la herramienta (401) alrededor del eje central y el aparato (408) de movimiento lineal de herramienta está dispuesto para mover la herramienta (401) a lo largo del eje central,

en donde el aparato de rotación de herramienta y el aparato de movimiento lineal de herramienta están dispuestos para controlarse en dependencia del paso del tornillo, de tal manera que la punta (402) de herramienta se mantenga a una distancia predefinida constante en relación con el tornillo cuando está en uso para mantener una fuerza controlada sobre el tornillo a medida que se gira el tornillo, en donde el aparato destornillador es caracterizado porque la distancia predefinida se puede establecer de tal manera que haya una brecha entre la punta (402) de herramienta y el tornillo de tal manera que, en uso, se aplica fuerza cero a lo largo del eje central cuando se instala el tornillo.

2. El aparato destornillador de la reivindicación 1, en donde el aparato de rotación de herramienta comprende un motor (404) de rotación de herramienta conectado a la herramienta (401) y un controlador (404a) de motor de rotación de herramienta para controlar el motor de rotación de herramienta.

3. El aparato destornillador de la reivindicación 1 o 2, en donde el aparato de movimiento lineal de herramienta comprende un motor (408) de movimiento lineal de herramienta un controlador (407a) de motor de movimiento lineal de herramienta para controlar el motor de movimiento lineal de herramienta.

4. El aparato destornillador de la reivindicación 3, en donde el motor (408) de movimiento lineal de herramienta está conectado a un tornillo (407) de avance que es paralelo al eje central, teniendo el tornillo de avance un paso conocido, en donde la herramienta está vinculada a una tuerca (406) montada en el tornillo de avance, de tal manera que la rotación del tornillo de avance hace que la herramienta se mueva a lo largo del eje central.

5. El aparato destornillador de cualquier reivindicación precedente, que incluye una unidad (502) de memoria, la unidad de memoria dispuesta para almacenar parámetros definibles por usuario relacionados con el tipo de tornillo que se instala, que incluyen el paso de tornillo, y parámetros relacionados con el aparato de movimiento lineal de herramienta que incluyen el paso del tornillo de avance, velocidad de atornillado y torque.

6. El aparato destornillador de cualquier reivindicación precedente, que incluye un procesador (501) dispuesto para enviar señales de rotación de herramienta al controlador de motor de rotación de herramienta para girar la herramienta y para enviar señales de movimiento lineal de herramienta al controlador de motor de movimiento lineal de herramienta, en donde el procesador está dispuesto para calcular las señales de movimiento lineal de herramienta con base en las señales de rotación de herramienta y la relación del paso de tornillo con el paso de tornillo de avance.

7. El aparato destornillador de la reivindicación 5 o 6, en donde el motor del aparato de rotación de herramienta y aparato de movimiento lineal de herramienta son servomotores que tienen codificadores, y en donde la unidad de memoria está dispuesta además para almacenar datos relacionados con el número de etapas de codificador en una vuelta completa del tornillo de avance y el número de etapas de codificador requeridas para mover la herramienta una distancia conocida a lo largo del eje central.

8. El aparato destornillador de las reivindicaciones 5 a 7, en donde la unidad de memoria está dispuesta para almacenar una velocidad de atornillado definida por usuario a la cual se instala el tornillo y en donde el procesador está dispuesto para controlar la velocidad de motor de movimiento lineal de herramienta con base en la velocidad de atornillado y la relación del paso de tornillo con el paso de tornillo de avance.

9. El aparato destornillador de cualquier reivindicación precedente, que incluye un tubo (409) de alojamiento de tornillo para recibir un tornillo desde un aparato alimentador de tornillo, una pinza (410) de tornillo en el extremo del tubo de alojamiento para sujetar un tornillo, y en donde el tubo de alojamiento y pinza de tornillo son removibles y se pueden reemplazar con una disposición de tamaño diferente para permitir que se instalen tornillos de tamaño de diferente.

10. Un sistema de destornillador robótico que comprende un accesorio (200) de destornillador como se reivindica en las reivindicaciones 1 a 9, en donde el accesorio de destornillador está controlado por un controlador (301) de destornillador, comprendiendo el sistema además un brazo (100) robótico y un controlador (303) de brazo robótico, en donde el controlador de brazo robótico incluye una interfaz (305) de usuario para que un usuario introduzca instrucciones para controlar el sistema.

11. Un método de operación de un aparato destornillador del tipo reivindicado en las reivindicaciones 1 a 10, comprendiendo el método las etapas de:

controlar un motor (404) de rotación de herramienta para girar un tornillo,

controlar un motor (408) de movimiento lineal de herramienta para mantener la herramienta a una distancia predeterminada del tornillo a medida que se gira el tornillo para controlar la fuerza aplicada al tornillo a medida que se instala, el método caracterizado porque la distancia predefinida se puede establecer de tal manera que haya una brecha entre la herramienta y el tornillo de tal manera que, en uso, se aplique fuerza cero a lo largo del eje central cuando se instala el tornillo.

12. Un producto de programa de ordenador capaz de ser instalado en un controlador de brazo robótico y de controlar un sistema de destornillador robótico para provocar la realización del método de la reivindicación 11.

Fig. 1

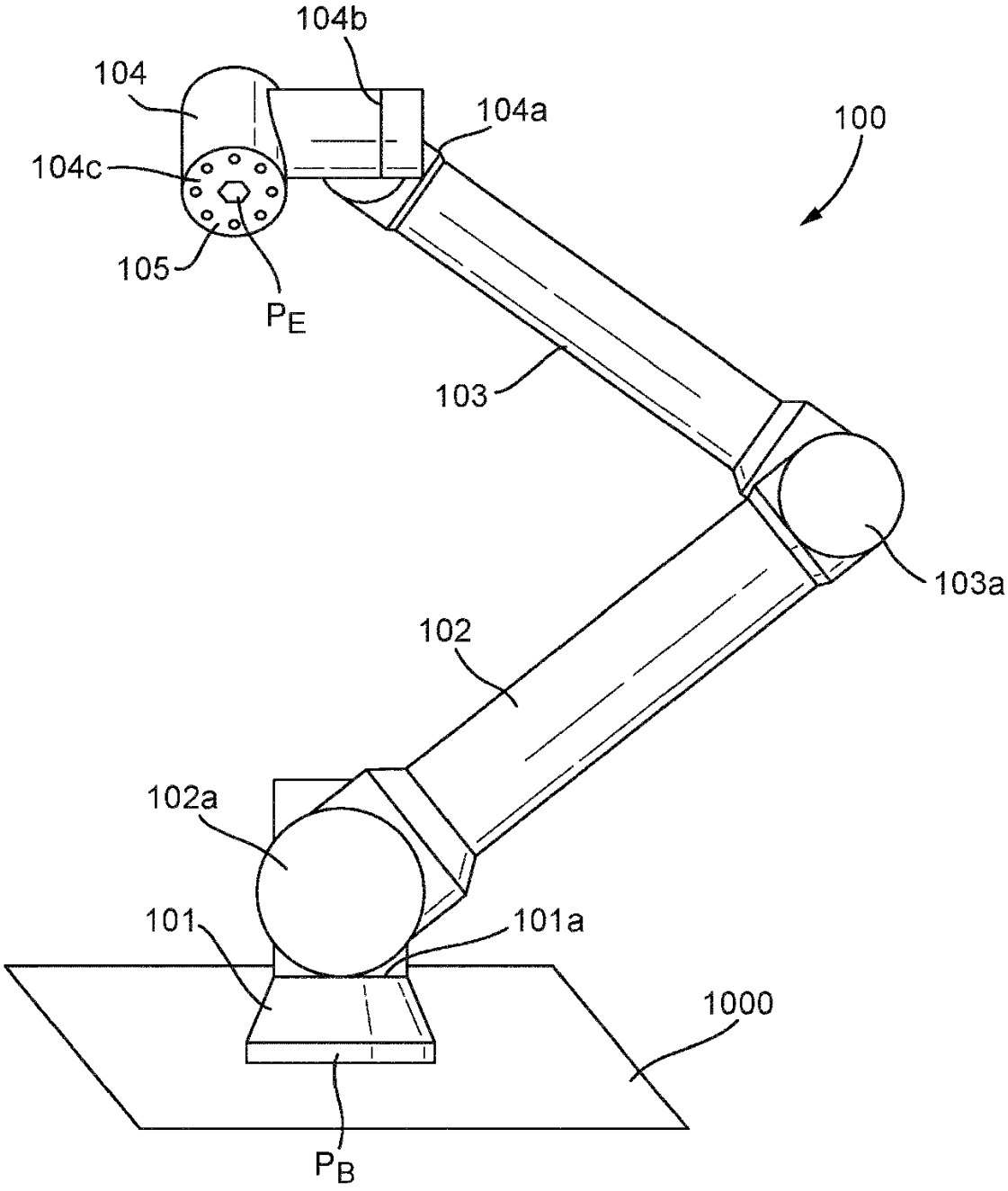
104b
104
104a
100
104c
105
$P_E$
103
103a
102
102a
101
101a
1000
$P_B$

Fig. 2

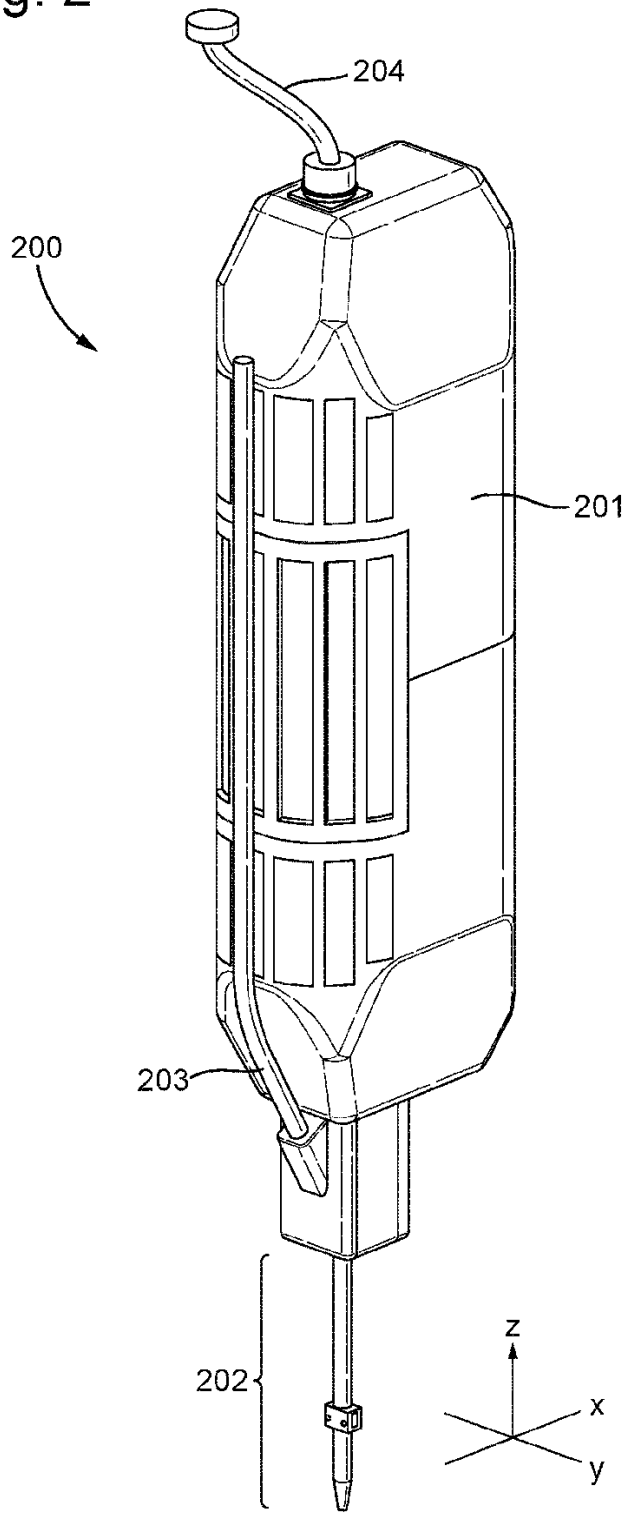

Fig. 3

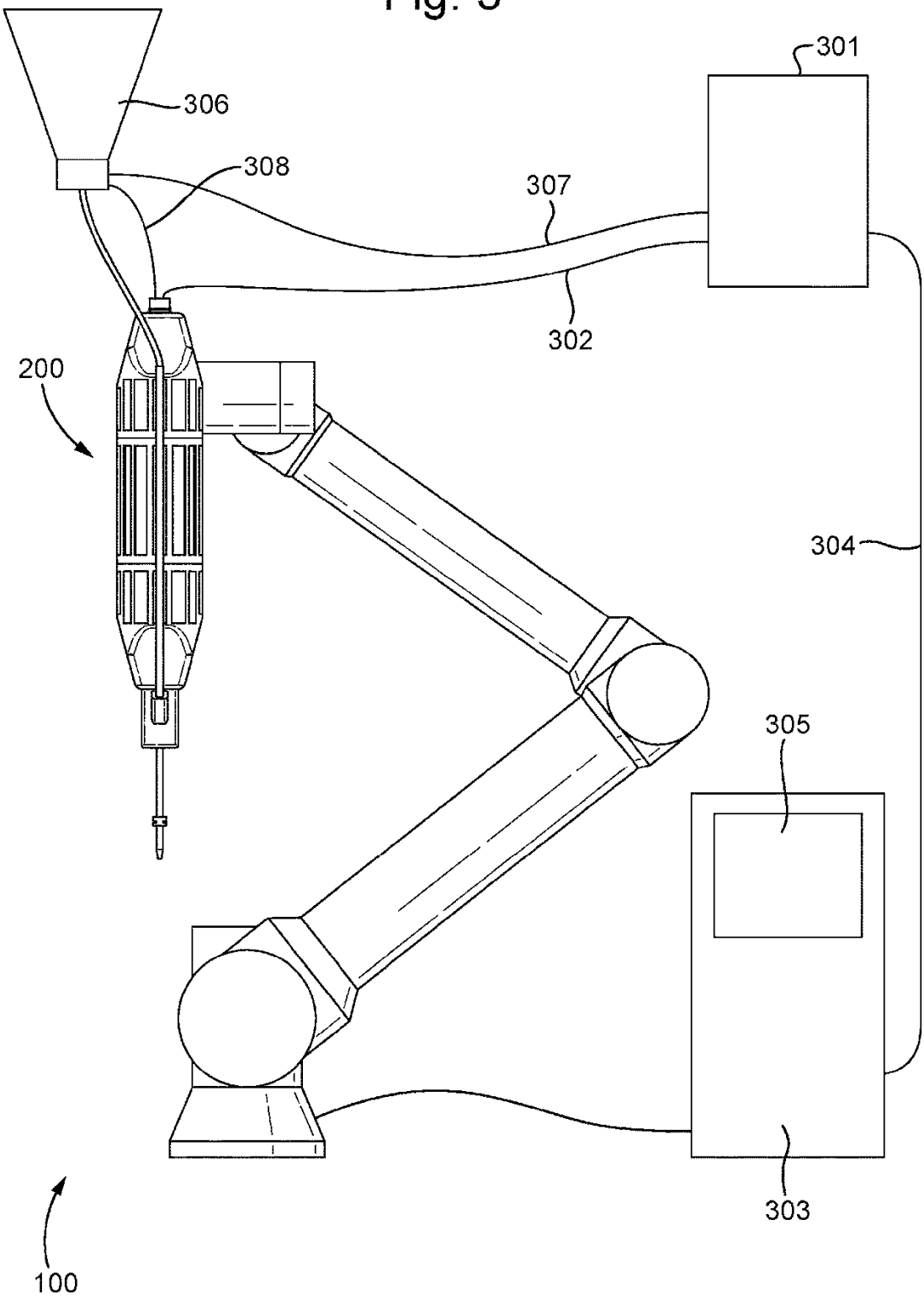

Fig. 4a

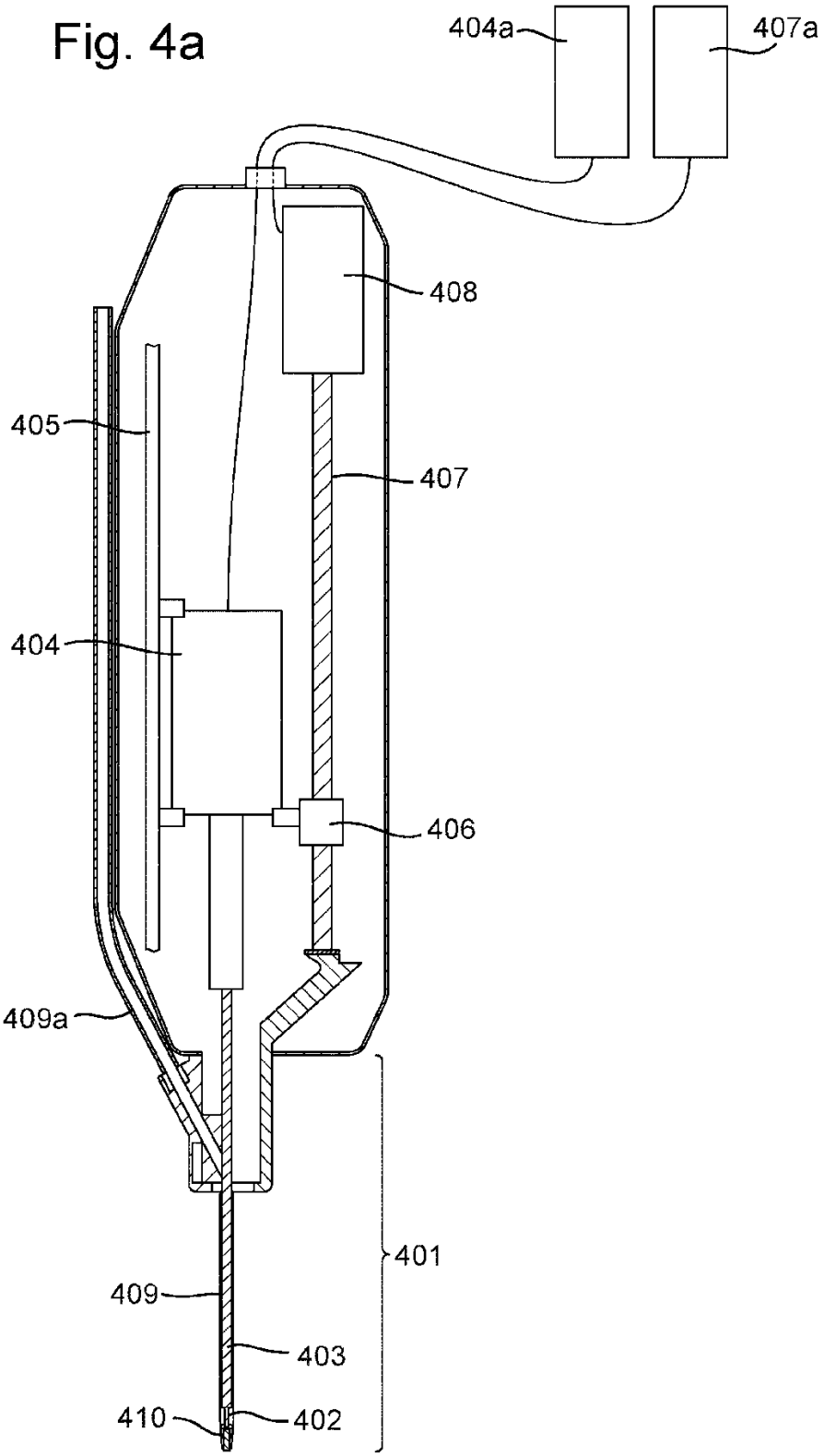

Fig. 4b

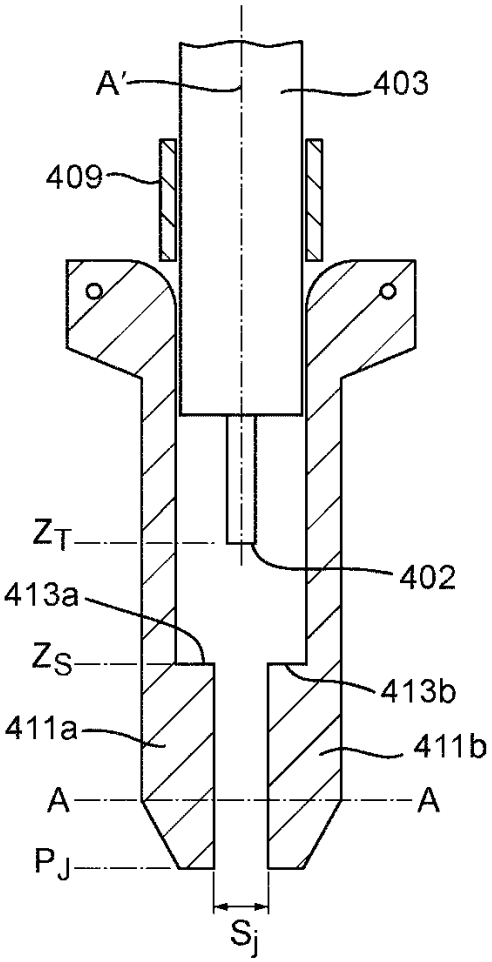


Fig. 4d

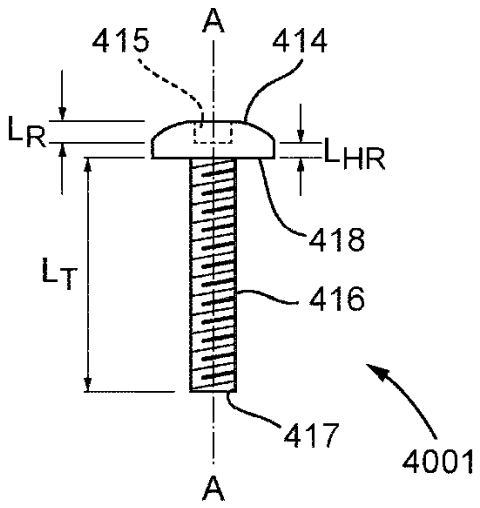


Fig. 4e

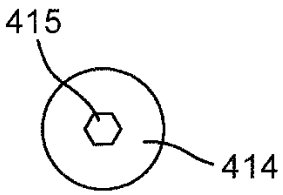


Fig.4c

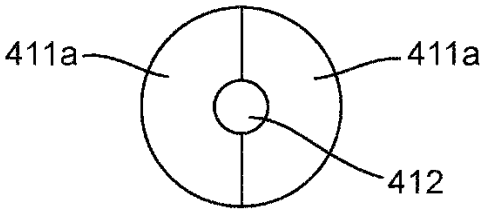

Fig. 4f

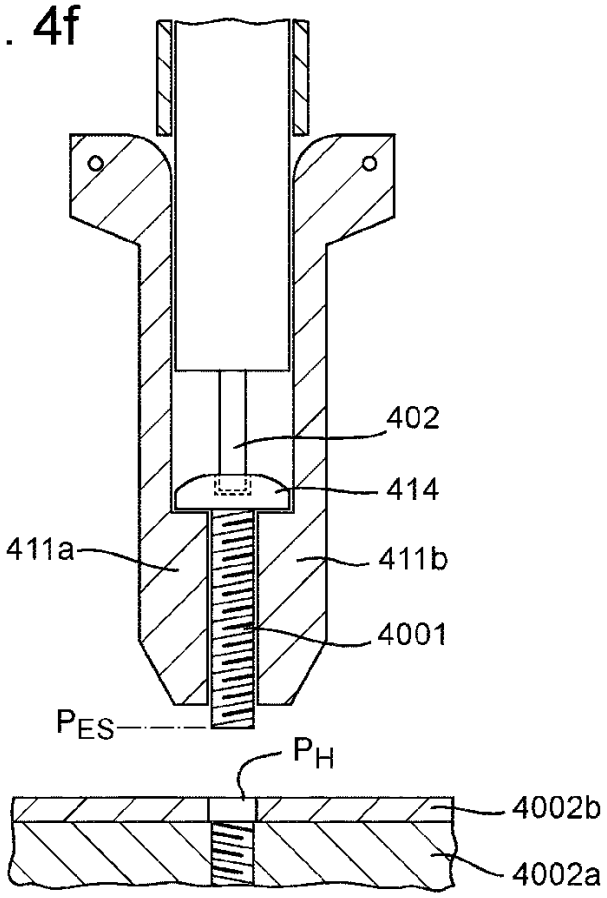


Fig. 4g

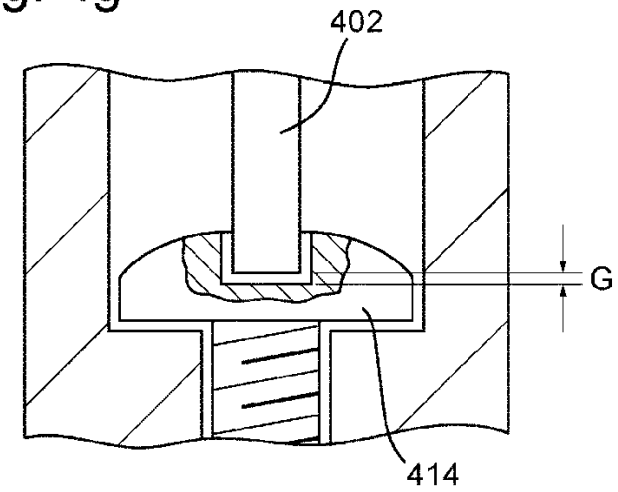

Fig. 5

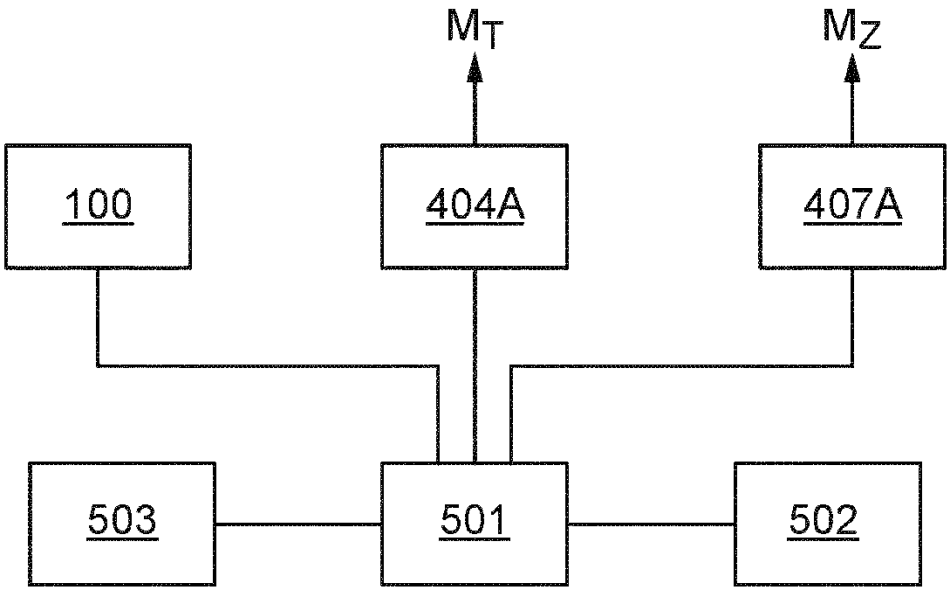

Fig. 6a

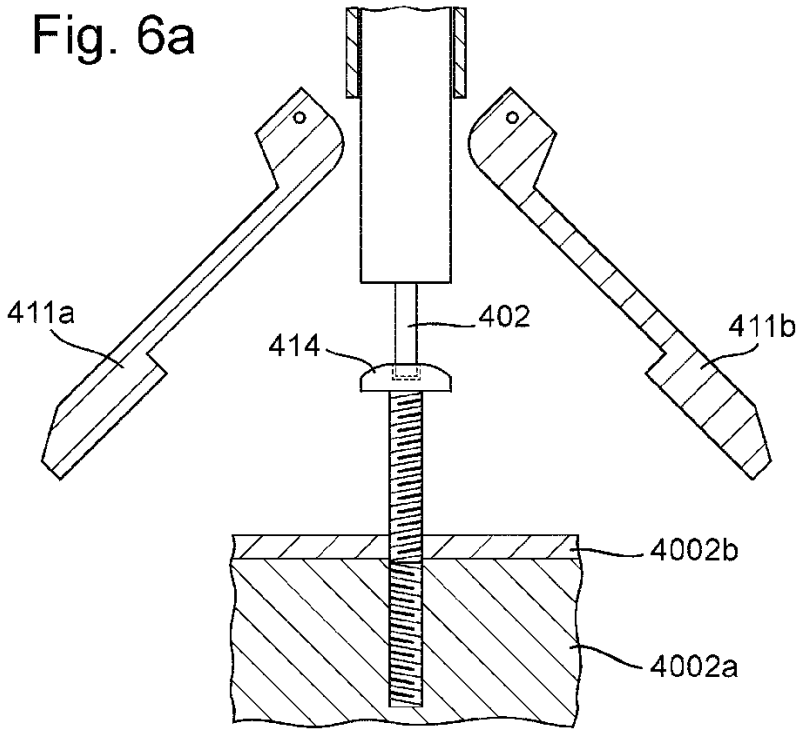


Fig. 6b

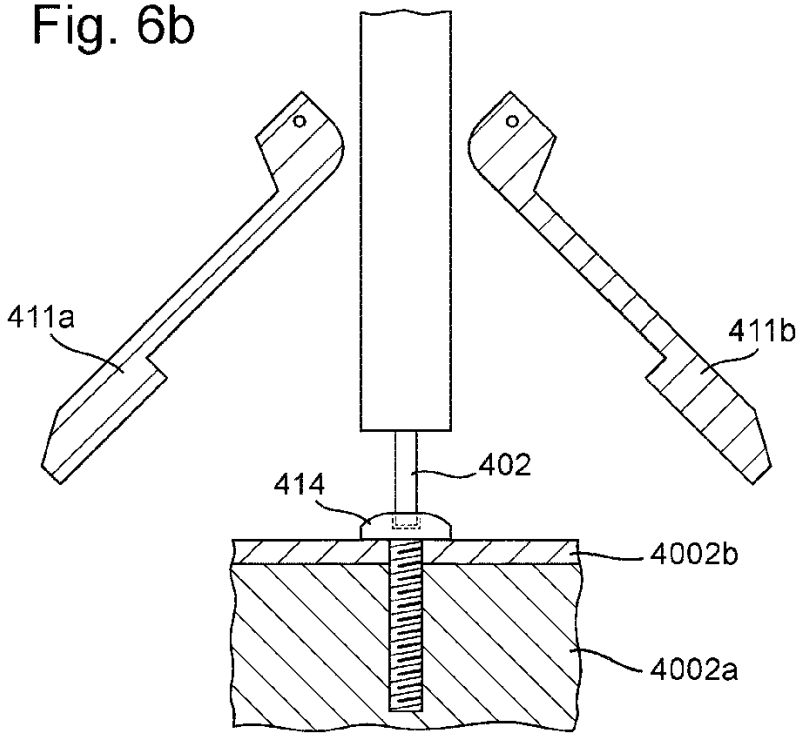

Fig. 7

