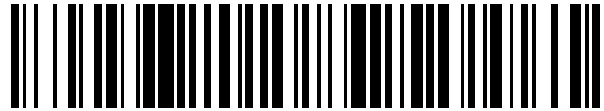


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 552 094**

51 Int. Cl.:

**B25J 9/16** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.12.2010 E 10790736 (2)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.08.2015 EP 2512755**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para el control de un manipulador**

30 Prioridad:

**17.12.2009 DE 102009058607**

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

**25.11.2015**

73 Titular/es:

**KUKA ROBOTER GMBH (100.0%)  
Zugspitzstrasse 140  
86165 Augsburg, DE**

72 Inventor/es:

**KLUMPP, SIMON y  
SCHREIBER, GÜNTER**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

**ES 2 552 094 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**

Procedimiento y dispositivo para el control de un manipulador

5 La presente invención se refiere a un procedimiento y un dispositivo para el control de un manipulador, especialmente de un robot, así como a una herramienta de sujeción para un manipulador utilizado según la invención.

10 Los robots industriales se utilizan, entre otros, para el ensamblaje de componentes. En este caso, son especialmente las tolerancias de posición de las piezas suministradas, que han de ensamblarse con las piezas sostenidas por el robot, las que dificultan la automatización.

15 Además de elasticidades constructivas, por ejemplo de un robot flexible o de una unión de efector final flexible, por ejemplo, mediante un, así llamado, Remote Center of Compliance ("RCC"), también se han propuesto en la investigación diversos principios teóricos para solucionar los, así llamados, problemas de pernos y orificios, por ejemplo, el registro de fuerzas de contacto a través de sensores de fuerza adicionales y la determinación de la trayectoria de ensamblaje correcta en base a estas fuerzas de contacto. No obstante, hasta ahora estos principios apenas se han puesto en práctica debido a distintos problemas.

20 El documento EP 0 901 054 A1 revela un procedimiento para el control de un robot que ha sido concebido para mover una pieza por una pista y, en caso de contacto con el entorno, modificar una respectiva amplificación del regulador de un circuito de regulación de posición y de un circuito de regulación de velocidad, de manera que se pueda sujetar la pieza guiada por el robot.

25 El documento EP 2 045 049 A2 revela un dispositivo y un procedimiento para el control de un manipulador, de manera que éste encuentre una posición y, en caso de contacto con un entorno, pueda aplicar una fuerza. Tan pronto como el efector final del manipulador se encuentre cerca de una posición predeterminada, es posible reducir la amplificación de regulación del circuito de regulación de movimiento.

30 El documento EP 1 950 010 A2 revela un procedimiento para la programación de un robot. En este caso, el robot se acerca, controlado en principio manualmente, a un punto, registrándose y grabándose posteriormente las fuerzas y los pares de giro generados por el robot en el punto al que se ha acercado. Acto seguido se proyecta, a partir de esta información, una trayectoria de vía. En caso de contacto con un entorno es posible cambiar a otro procedimiento de regulación, por ejemplo, una regulación de fuerza.

35 La función de la presente invención consiste en perfeccionar el control de un manipulador.

40 Esta tarea se resuelve gracias a un procedimiento con las características de la reivindicación 1. La reivindicación 8 protege un dispositivo, la reivindicación 9 un producto de programa informático, en especial, un medio de almacenamiento o un soporte de datos, para la puesta en práctica de un procedimiento según la invención. Las subreivindicaciones se refieren a perfeccionamientos ventajosos.

45 Se prevé un procedimiento o un dispositivo según la presente invención especialmente para un robot de un solo eje o de varios ejes, por ejemplo, de seis ejes o redundante, como por ejemplo, para un robot industrial o un robot de construcción ligera, por ejemplo, un robot de construcción ligera "LBR" de la solicitante. En este caso, por un control también se entiende un regulador, es decir, la especificación de variables activas sobre la base de magnitudes piloto preestablecidas y magnitudes reales registradas.

50 Según la invención se registra una fuerza de contacto en base a fuerzas de accionamiento reales y fuerzas de accionamiento de un modelo dinámico del manipulador.

55 Para una representación más compacta en este caso también se define en general como fuerza un par de giro, es decir, un par de fuerzas antiparalelo, de manera que, por ejemplo, por el registro de una fuerza de contacto se entiende el registro de componentes de pares de fuerza y/o de componentes de pares de giro en una o varias direcciones, especialmente direcciones cartesianas o ejes articulados y definiéndose también como fuerza de accionamiento un par de giro de accionamiento, por ejemplo, de un motor eléctrico.

60 Las fuerzas de accionamiento reales se pueden registrar, por ejemplo, directamente por medio de sensores de fuerza en un eje o en un accionamiento del manipulador, y/o indirectamente, por ejemplo, en base a una absorción o a un suministro de potencia de un accionamiento.

65 Un modelo dinámico describe, en general, la relación entre magnitudes cinemáticas, especialmente, coordenadas articuladas  $q$ , velocidades articuladas  $dq/dt$  y aceleraciones articuladas  $d^2-q/dt^2$ , y fuerzas, especialmente, fuerzas de accionamiento, fuerzas de peso y fuerzas de fricción, por ejemplo, en la forma

$$M d^2q/dt^2 + h(q, dq/dt) = \tau_{Modelo}$$

con la matriz de masa  $M$  y las fuerzas generalizadas  $h$ . Si se conocen las magnitudes cinemáticas, así como las fuerzas de peso y de fricción, resultan diferencias entre las fuerzas de accionamiento  $\tau_{\text{Modelo}}$  del modelo y las fuerzas de accionamiento reales  $\tau$  además de errores de modelo y de medición, especialmente a partir de fuerzas de contacto no previstas en el modelo que se pueden registrar así debido a la diferencia entre las fuerzas de accionamiento realmente medidas y las fuerzas de accionamiento del modelo:

$$F_{\text{Contacto}} = F(\tau_{\text{Modelo}} - \tau)$$

Este registro de fuerzas de contacto entre el manipulador y una pieza de trabajo en base a fuerzas de accionamiento reales y fuerzas de accionamiento de un modelo dinámico ahorra sensores de fuerza adicionales y permite de forma ventajosa, como se explica a continuación, una medición, una supervisión del ensamblaje y/o un cambio a una regulación flexible.

Según una variante de realización de la presente invención, el manipulador de regulación rígida se aproxima a una o varias posiciones, en especial para la medición o el ensamblaje de piezas de trabajo. Por una regulación rígida se entiende, sobre todo, una regulación de posición, por ejemplo, una regulación proporcional, diferencial y/o integral, a saber, de una posición cartesiana de un punto de referencia como, por ejemplo, del TCPs, o en coordenadas articuladas del manipulador.

En esta realización se registran una o varias fuerzas de contacto de forma continua o en momentos separados que en caso de contacto con una pieza de trabajo controlada actúan sobre el manipulador.

Si una fuerza de contacto registrada rebasa un valor preestablecido que especialmente también puede ser cero, en su caso teniendo en cuenta las tolerancias correspondientes, se cambia, según la invención, a una regulación flexible. Preferiblemente una conmutación como ésta se lleva a cabo en un espacio de tiempo máximo de 3 milisegundos después de producirse un contacto, preferiblemente un espacio de tiempo máximo de 1,5 milisegundos.

Una regulación flexible o bien una conmutación a una regulación de este tipo se puede llevar a cabo, por ejemplo, gracias a que se reducen los coeficientes de regulación de una regulación P o PD y/o se suprime una parte integral de una regulación PID, de manera que el manipulador no puede aplicar ninguna fuerza de accionamiento elevada ni siquiera en caso de desviaciones de regulación o errores de arrastre mayores entre la posición teórica y la posición real. Adicional o alternativamente también es posible limitar una fuerza de accionamiento a un valor máximo, preferiblemente bajo, de manera que a su vez tampoco se generen fuerzas de accionamiento elevadas en caso de errores de arrastre mayores. En una realización preferida, una regulación flexible se configura como una, así llamada, regulación de impedancia, especialmente una regulación de impedancia basada en la fuerza. En general, como regulación flexible se define en este caso, al contrario que en una regulación rígida, especialmente cualquier regulación en la que se generan fuerzas de accionamiento del manipulador, de manera que en caso de un contacto con una pieza de trabajo no se deterioren ni ésta ni el manipulador, ni siquiera cuando una posición teórica preestablecida requiera una penetración más profunda del manipulador en la pieza de trabajo.

En una variante de realización preferida, una pieza de trabajo se ensambla con la regulación flexible y/o su posición se mide en base a las fuerzas de contacto registradas en un procedimiento de varias fases. De este modo es posible reducir ventajosamente los tiempos de ciclo especialmente en combinación con un robot de construcción ligera con sus inercias más reducidas, dado que ahora se puede alcanzar de forma rápida y precisa una posición básica de medición o de ensamblaje con la regulación rígida, sin que exista el riesgo de dañar la pieza de trabajo o el manipulador durante la medición o el ensamblaje, dado que en caso de contacto se cambia inmediatamente a la regulación flexible.

Según la invención, una pieza de trabajo se ensambla bajo regulación flexible, supervisando un estado de ensamblaje de la pieza de trabajo en base a una fuerza de contacto registrada. Mediante la supervisión de una fuerza de contacto es posible reconocer, en virtud de un descenso especialmente significativo, un enclavamiento de una pieza de trabajo ensamblada bajo deformación elástica o plástica y, por consiguiente, un correcto proceso de ensamblaje. De esta manera, por ejemplo en caso de ensamblaje bajo deformación elástica aumenta en principio una fuerza de contacto, especialmente en contra de la dirección de ensamblaje. Si la pieza de trabajo se relaja, por ejemplo, después de vencer un reborde, esta fuerza desciende de forma significativa. Del mismo modo se puede revisar, por ejemplo, a partir de un par de giro que ejerce un tornillo ensamblado como fuerza de contacto sobre el manipulador, que se registra según la invención, el estado de tensión del tornillo y determinar si se ha desenroscado la cabeza de un tornillo.

Adicionalmente se puede supervisar un estado de ensamblaje de la pieza de trabajo en base a una posición final del manipulador alcanzada bajo la regulación flexible. Por medio de una regulación flexible se puede conseguir que el manipulador no siga moviendo la pieza de trabajo en dirección de ensamblaje, independientemente de haber alcanzado una posición de ensamblaje final teórica. Si la posición final alcanzada bajo la regulación flexible se

compara con la posición de ensamblaje final teórica, que se puede determinar, por ejemplo, mediante la programación de un robot, se puede comprobar si el proceso de ensamblaje se ha realizado correctamente.

5 Adicionalmente un estado de ensamblaje de la pieza de trabajo se puede supervisar también en base a una modificación temporal de la posición del manipulador bajo la regulación flexible, especialmente en base a una velocidad. Si la velocidad del TCPs o de la pieza de trabajo guiada por el manipulador en dirección de ensamblaje queda por debajo de un valor límite, se puede comprobar que la pieza de trabajo no ha sido ensamblada correctamente.

10 Si éste no fuera el caso, por ejemplo, porque la pieza de trabajo a ensamblar se viera obstaculizada por un contorno perturbador, se puede variar una estrategia de ensamblaje, en especial una posición de ensamblaje, intentando, por ejemplo, guiar un perno en una posición de partida desplazada frente a la posición de ensamblaje básica original.

15 De acuerdo con una variante de realización preferida, se predeterminan en un ensamblaje de una pieza de trabajo bajo regulación flexible, tanto una o varias fuerzas teóricas como también uno o varios movimientos teóricos. Si la regulación flexible se realiza, por ejemplo, por medio de una regulación de impedancia basada en la fuerza, determinando fuerzas de accionamiento  $\tau$  según

$$20 \quad \tau = J^T [c(x_{\text{teórico}} - x)]$$

a través de una fuerza elástica proyectada por medio de la matriz de Jakob J transpuesta en el espacio de las coordenadas articuladas, por ejemplo, el ángulo de giro de un robot de brazo articulado, de un resorte virtual con la constante elástica c entre una posición cartesiana teórica y una posición cartesiana real  $x_{\text{teórico}}$  o x del TCPs se puede añadir al movimiento teórico según

$$25 \quad \tau = J^T [c(x_{\text{teórico}} - x) + F]$$

30 una fuerza definida en el espacio cartesiano. Esto se puede hacer preferiblemente y de manera opcional, por ejemplo, en función del proceso de ensamblaje ya realizado o de la estrategia de ensamblaje, para la pieza de trabajo en cuestión. La fuerza teórica se puede especificar previamente, por ejemplo, constante, en rampa, alternativa o pulsante, especialmente senoidal, para vencer durante el ensamblaje, por ejemplo, fenómenos Stick-Slip, rebabas o pequeñas tolerancias elásticas.

35 Para ensamblar las piezas de trabajo entre sí resulta especialmente necesario conocer una posición, es decir, una situación y/o orientación de una pieza de trabajo, por ejemplo, de un cuerpo base con respecto al manipulador que sostiene una pieza de trabajo a ensamblar con la otra, por ejemplo, un perno, una grapa o similar. Por este motivo, y según otra variante perfeccionada de la presente invención, una posición de una pieza de trabajo se mide con el manipulador en un procedimiento de varias fases.

40 De acuerdo con esta variante perfeccionada, las posiciones de preferiblemente al menos dos contornos no alineados, en especial cantos, de la pieza se determinan registrando las posiciones del manipulador y, al mismo tiempo, las fuerzas de contacto que actúan sobre él. Si una fuerza de contacto aumenta de forma significativa al adoptar una posición, dado que un palpador del manipulador entra en contacto con un contorno de la pieza de trabajo, se puede determinar la posición de contacto a partir de la posición correspondiente del manipulador.

45 Si de esta manera se conoce más o menos la posición de la pieza de trabajo con respecto al manipulador, es posible aproximarse en un proceso seguro a los puntos de referencia de la pieza de trabajo definidos, por ejemplo, por medio de escotaduras, especialmente perforaciones. Al entrar un palpador en contacto con un punto de referencia, por ejemplo, entrada de un palpador en una escotadura, se puede determinar la posición de este punto de referencia en virtud del aumento de una fuerza de contacto correspondiente que se opone al movimiento del palpador. En base a estos puntos de referencia se puede determinar un sistema de coordenadas de la pieza de trabajo que, al contrario que los contornos controlados para una orientación aproximada, permite una determinación precisa, por ejemplo, de las posiciones de ensamblaje, etc.

50 Preferiblemente un palpador se aproxima de manera perturbadora a un punto de referencia, es decir, el manipulador mueve al palpador en las inmediatas proximidades de la posición previamente estimada del punto de referencia a lo largo de un trayecto de búsqueda especificado, preferiblemente en un plano orientado fundamentalmente de forma tangencial al contorno de la pieza de trabajo en el punto de referencia, y registra así en cierto modo la posición previamente estimada del punto de referencia hasta que, debido a la fuerza de contacto, más o menos como consecuencia de una introducción del palpador en un orificio, se impida su movimiento ulterior. En este caso resulta ventajoso que, de acuerdo con una variante de realización, la posición previamente estimada del punto de referencia se controle bajo una regulación flexible.

60 Para garantizar, en especial, una introducción de un palpador en una escotadura definida en un punto de referencia, el manipulador puede ejercer durante su control una fuerza normal sobre la pieza de trabajo perpendicular al plano arriba mencionado, orientado fundamentalmente de forma tangencial al contorno de la pieza de trabajo en el punto

de referencia. En una variante de realización preferida de la presente invención, un palpador y una escotadura para la definición de un punto de referencia se han diseñado de manera que el propio palpador se centre al introducirse en la escotadura. El palpador puede presentar, por ejemplo, una punta cuneiforme y la escotadura un contorno circular.

5 La palpación de los contornos para la determinación de la posición aproximada de la pieza de trabajo, para poder palpar los puntos de referencia en un proceso seguro, y la palpación de los puntos de referencia se pueden llevar a cabo sucesivamente de manera que en primer lugar se palpen todos los contornos predeterminados antes de controlar a continuación los puntos de referencia cuya posición aproximada se conoce de esta manera. Del mismo modo esta operación se puede llevar a cabo alternativamente de modo que en primer lugar se palpen respectivamente los contornos, preferiblemente cerca de los puntos de referencia, a continuación los puntos de referencia cuya posición aproximada frente a estos contornos se conoce, antes de palpar otros contornos a fin de determinar la posición aproximada de otros puntos de referencia y palparlos después en un proceso seguro.

15 De acuerdo con una variante de realización, un manipulador sostiene una pieza de trabajo a ensamblar en principio en al menos dos contactos de fuerza preferiblemente no colineales, en especial orientados fundamentalmente de forma perpendicular los unos frente a los otros, si lo coloca en una posición de ensamblaje básica. Como contacto de fuerza se define en este caso un contacto entre la pieza de trabajo y el manipulador, especialmente una herramienta de sujeción, en la que el manipulador ejerce una fuerza de sujeción sobre la pieza de trabajo, definiéndose como orientación la dirección de la respectiva fuerza de sujeción.

20 Un primer contacto de fuerza se puede realizar, por ejemplo, en unión de fuerza por medio de un electroimán que atrae la pieza de trabajo al actuar. Un segundo contacto de fuerza se puede realizar, por ejemplo, en unión de forma por medio de un saliente en el que se apoya la pieza de trabajo.

25 Después de la colocación en una posición de ensamblaje básica, el manipulador mueve la pieza de trabajo en dirección de ensamblaje hasta una posición de ensamblaje final. De acuerdo con la invención, uno de los contactos de fuerza, por ejemplo el primero, se abre como consecuencia de un contacto de fuerza realizado por un electroimán, tan pronto como una pieza de trabajo, con la que se ensambla la pieza de trabajo sostenida por el manipulador, asuma su función de apoyo y de sujeción.

30 Esto permite una reorientación del útil manipulador que sostiene la pieza de trabajo de modo que se puede evitar un conflicto con los contornos de una pieza de trabajo con la que se ensambla la pieza de trabajo sostenida por el manipulador.

35 En especial, para permitir en la medición y en el posterior ensamblaje según la invención de piezas de trabajo, unos ciclos más cortos, una herramienta de sujeción para el manipulador presenta, en una variante perfeccionada, una zona de sujeción para la sujeción, especialmente la sujeción en unión de fuerza y/o de forma de una pieza de trabajo, y adicionalmente un palpador para palpar una pieza de trabajo. La zona de sujeción puede representar, por ejemplo, por medio de uno o varios electroimanes y/o salientes, los primeros y segundos contactos de fuerza antes citados y el palpador puede presentar preferiblemente un extremo cuneiforme para el autocentrado en una escotadura bajo una regulación flexible. Preferiblemente el palpador se extiende fundamentalmente en ángulo recto u opuesto a la zona de ajuste o sujeción de la pieza de trabajo para evitar conflictos entre una pieza de trabajo y la zona de sujeción durante la medición y el palpador durante el ensamblaje. Un palpador en el sentido de la presente invención puede ser por lo tanto especialmente un perno firmemente unido a una herramienta de sujeción del manipulador o configurado en una parte con éste, una espiga o un útil similar que sea con preferencia rotacionalmente simétrico y/o que presente una punta.

40 Otras ventajas y características resultan de las subreivindicaciones y de los ejemplos de realización. Se ve, parcialmente esquematizado, en la:

- 50 Fig. 1: una vista sobre una pieza de trabajo durante una medición;
- Fig. 2: una sección a lo largo de la línea II-II de la figura 1;
- 55 Fig. 3A: una vista lateral de la parte superior izquierda de la figura 1 durante el ensamblaje de una pieza de trabajo según un procedimiento conforme a una variante de realización de la presente invención;
- Fig. 3B: una sección a lo largo de la línea IIIB-IIIB de la figura 1, 3A con una pieza de trabajo colocada en una posición de ensamblaje básica;
- 60 Fig. 3C: una vista según la figura 3B con la pieza de trabajo en la posición de ensamblaje final;
- Figs. 4A-4D: una vista lateral durante el ensamblaje de otra pieza de trabajo según un procedimiento conforme a una variante de realización de la presente invención;
- 65

- Fig. 5: el proceso de la medición mostrada en las figuras 1, 2;  
 Fig. 6: el proceso de la variación de una posición de ensamblaje mostrada en la figura 3A y  
 5 Fig. 7: el proceso de un ensamblaje representado en las figuras 4A-4D.

A la vista de las figuras 1, 2 y 5 se explica una medición en varias fases de una posición de una pieza de trabajo 2 en base a las fuerzas de contacto registradas según un procedimiento que no es objeto de la reivindicación 1, sino en cuyo caso se trata de un ejemplo que facilita la comprensión de la invención.

10 En este procedimiento la pieza de trabajo 2, por ejemplo un tablero de instrumentos, se posiciona después de su suministro, en principio dentro de ciertas tolerancias, arbitrariamente en la zona de trabajo de un robot de construcción ligera del que en las figuras siempre se muestra sólo una parte de una herramienta de sujeción 1, en las figuras 1, 2 sólo un palpador cilíndrico 1A con punta cuneiforme (compárese figura 3A) dispuesto en ángulo recto con respecto a una zona de sujeción 1.1, 1.2, del que a continuación nos ocuparemos con referencia a las figuras 3, 4. En la zona de trabajo se define un sistema de coordenadas básico B del robot cuyos ejes x e y se insinúan en la figura 1. Gracias al empleo explicado a continuación respectivamente con mayor detalle de una herramienta de sujeción 1 según la invención con una zona de sujeción 1.1, 1.2 (compárese figura 3B) y un palpador 1A (compárese figura 3A) se puede evitar un cambio de herramienta entre la medición y el ensamblaje y reducir así el ciclo.

20 En una primera fase de un procedimiento de varias fases, el robot de regulación rígida PID desplaza su palpador 1A en dirección x o y del sistema de coordenadas B, hasta que éste entre sucesivamente en contacto con los cantos 2.1, 2.2 de la pieza de trabajo 2 en los puntos indicados en la figura 1 (compárese figura 5, paso S10). Un dispositivo de control (no representado) compara los pares de giro de accionamiento  $\tau$  medidos en el robot con los pares de giro de accionamiento teóricos  $\tau_{\text{Modelo}}$  que serían teóricamente necesarios, de acuerdo con un modelo dinámico sin contacto, para la creación del movimiento registrado del robot (Fig. 1: "S20"). Si la diferencia entre estos pares de giro de accionamiento supera, especialmente en cuanto a la cifra, un valor límite preestablecido  $\tau_{\text{Contacto}}$ , se reconoce que el palpador 1A ha entrado en contacto con un canto 2.1 ó 2.2 de la pieza de trabajo 2. Acto seguido se cambia inmediatamente, en un espacio de tiempo de un milisegundo, a una regulación de impedancia flexible basada en la fuerza (Fig. 1: "S30") en la que el palpador 1A se "tira" con 1 resorte virtual en dirección de una posición teórica  $X_{\text{teórico}}$ .

35 Mediante la palpación de los dos cantos 2.1, 2.2 no alineados ya se puede determinar aproximadamente la posición de la pieza de trabajo 2 en el sistema de coordenadas B del robot (Fig. 1: "S40"). El cambio a la regulación flexible garantiza que el robot se pueda aproximar rápidamente a los contornos, en principio regulado de forma rígida, sin dañar en caso de contacto ni la pieza de trabajo ni el robot.

40 En una segunda fase se controlan tres perforaciones de referencia no colineales 3.1-3.3 en la pieza de trabajo 2 con el palpador. Para ello, el robot mueve el palpador 1A en las posiciones 3.1<sub>subestimado</sub> hasta 3.3<sub>estimado</sub> (Fig. 1: "S50") que se estiman en virtud de la posición de la pieza de trabajo 2 que se conoce aproximadamente de la primera fase, moviéndose el palpador 1A en vías perturbadas, por ejemplo, en forma de meandros o paralelas, en las posiciones estimadas (compárese figura 2). Durante este proceso, la punta del palpador se presiona con una fuerza normal y perpendicularmente al plano de la superficie de la pieza de trabajo sobre la misma, mientras que el robot se regula de forma flexible, especialmente en este plano (izquierda-derecha en la figura 2).

45 Tan pronto el palpador 1A llega desde una posición situada al lado de una perforación de referencia, que se indica con una línea a rayas en la figura 2 y se define con 1A", a la posición del punto de referencia definido por la perforación de referencia 3, se desliza, bajo la fuerza normal aplicada, al interior de ésta centrándose en esta perforación como consecuencia de su punta cuneiforme y de la regulación flexible en el plano superficial, tal como se representa en la figura 2 con una línea continua.

50 A un movimiento posterior del palpador 1A por el robot regulado de forma flexible que sigue intentando recorrer el trayecto de búsqueda se opone ahora una fuerza de contacto significativamente mayor sobre el palpador 1A que se encuentra en la perforación 3.2, que se registra en un paso S60 (Fig. 5). De esta manera las posiciones de las perforaciones de referencia 3.1-3.3 se pueden determinar de forma rápida, precisa, cuidadosa y segura. A partir de éstas se puede determinar después especialmente la posición de un sistema de coordenadas W fijo de la pieza de trabajo en relación con el sistema de coordenadas B del robot.

60 Ahora se une por ejemplo una grapa 4 (compárese figura 3) sobre un canto de la pieza de trabajo 2 que en la figura 1 es el canto superior izquierdo, pudiéndose suprimir también la medición de varias fases al cambiar a una regulación flexible. Este proceso de ensamblaje se explica a la vista de las figuras 3, 6.

65 En la figura 3A se ha dibujado a rayas una primera posición de ensamblaje básica en la que el robot coloca en primer lugar la grapa 4 intentando empujarla sobre la pieza de trabajo 2 en dirección de ensamblaje (Índice ' en la figura 3A; paso S110 en la figura 6). Sin embargo, durante esta operación la grapa 4 colisiona con una brida 2.3 de la pieza de trabajo 2 (compárese también figura 1). Como ya se ha descrito antes, en caso de contacto se cambia a

una regulación flexible (Fig. 6: "S120", "S130") en la que se superpone a un movimiento teórico  $x_{\text{teórico}}$  una fuerza teórica predeterminada  $F$  especialmente una fuerza constante  $F_{xy}$  en dirección de ensamblaje y una fuerza  $F_z$  con una curva senoidal perpendicular a la dirección y al plano de ensamblaje, para facilitar el montaje por deslizamiento sobre el canto.

5 Sin embargo, debido a la regulación flexible no se produce ningún deterioro de la pieza de trabajo o del robot a pesar de la colisión con la brida 2.3. Tan pronto la pieza de trabajo 1 del robot, con la grapa 4 sostenida por él, ya no se mueva debido a la resistencia, más bien se compara la posición final alcanzada del robot (indicada en la figura 3A con una línea de rayas), con una posición final programada con la grapa 4 montada correctamente por deslizamiento (Fig. 6: S140). En el presente caso, el dispositivo de control reconoce, en virtud de la diferencia significativa, que la grapa 4 no ha sido montada correctamente por deslizamiento. Por ese motivo se cambia la posición de ensamblaje (Fig. 6: S150), colocando el robot la grapa 4 nuevamente, lateralmente desplazada, en la pieza de trabajo 2 tal como se indica en las figuras 3A-3C con una línea continua. Este proceso se repite hasta que el robot pueda ensamblar la grapa 4 sin colisión o hasta que se alcance un número preestablecido de intentos fallidos.

15 A la vista de las figuras 3B, 3C se explica un proceso de ensamblaje satisfactorio. El robot coloca la pieza, en su caso después de los intentos fallidos descritos anteriormente en relación con la figura 3A, en una posición de ensamblaje básica y la desliza ligeramente sobre la pieza de trabajo 2 (Fig. 3B). Durante este proceso sostiene la grapa 4, por una parte, en un primer contacto de fuerza en dirección vertical por medio de un electroimán activado 1.2, apoyándola al mismo tiempo en un segundo contacto de fuerza, en dirección horizontal y en unión de forma, contra un saliente 1.1 de la herramienta 1 en contra de una segunda fuerza de contacto que se opone al montaje por deslizamiento.

20 Para evitar durante el posterior ensamblaje una colisión de la herramienta 1 con la brida 2.3 de la pieza de trabajo 2, el dispositivo de control anula durante el deslizamiento el primer contacto de fuerza, suprimiendo el suministro de corriente al electroimán 1.2, lo que permite una reorientación de la herramienta 1 (Fig. 3C) con respecto a la grapa 4 parcialmente montada. De esta manera el robot con el saliente de la herramienta 1.1 puede deslizar completamente la grapa 4 sobre la pieza de trabajo 2.

25 A la vista de las figuras 4, 7 se explica el ensamblaje de otro componente, en concreto de un tapón elástico 40 en una perforación 20. Se reconoce que el robot mueve el tapón 40, en primer lugar, en dirección vertical hacia la perforación 20 (paso S210 en la figura 7). Si una fuerza de contacto registrada por medio de la diferencia entre los pares de giro medidos y los pares de giro del modelo supera un valor límite preestablecido, el dispositivo de control registra el contacto con la pieza de trabajo (Fig. 7: "S220") y cambia a una regulación flexible (Fig. 7: "S230"). Bajo esta regulación el tapón se sigue insertando, registrándose la fuerza de contacto por encima del avance de ensamblaje  $z$ .

30 En la serie de figuras 4B→4C se reconoce que el tapón 40 se deforma elásticamente durante este proceso. Cuando su brida inferior atraviesa por completo la perforación 20 regresando elásticamente a su posición de partida, se reduce la fuerza de contacto que se opone al ensamblaje.

35 El dispositivo de control registra esta disminución de la fuerza en un paso S240 y sobre esta base puede comprobar, también en caso de regulación flexible, si el tapón 40 ha sido introducido debidamente en la perforación 20. Adicionalmente en este caso también se puede comparar la posición final alcanzada durante la parada del robot con una posición previamente programada para comprobar si el tapón 40 ha sido introducido por completo en la perforación 20.

40 Adicionalmente se puede emplear aquí un criterio de velocidad. Esto resulta especialmente conveniente cuando la posición final en dirección de ensamblaje no se conoce con exactitud, por ejemplo en el caso de que la posición de la pieza de trabajo 20 varíe sin que se mida respectivamente antes del ensamblaje. Cuando la velocidad del TCPs o de la pieza de trabajo 40 baja, por ejemplo, durante un espacio de tiempo preestablecido, por debajo de un valor límite predeterminado, el dispositivo de control puede registrar que el tapón 40 ya no se puede introducir más en la perforación. En este momento se registra la posición final así alcanzada y se compara con la posición grabada al entrar en contacto las piezas de trabajo 20, 40 que se puede registrar, por ejemplo, a través del aumento de la fuerza registrado en ese momento. Si la diferencia de las dos posiciones se mantiene dentro de unas tolerancias predeterminadas, el proceso de ensamblaje se registra como realizado satisfactoriamente.

45 En una variante de realización no representada, el robot de construcción ligera enrosca un tornillo en una rosca a través de la especificación de un par de giro teórico y/o de un avance teórico. También en este caso se registra una fuerza de contacto, por ejemplo, un par de giro en dirección del tornillo y se supervisa el estado de ensamblaje en base a esta fuerza de contacto. Cuando el robot alcanza su posición de ensamblaje programada y si en este momento existe un par de giro demasiado elevado, el tornillo ha sido apretado demasiado. Si el par de giro es, sin embargo, bajo, el tornillo no ha sido apretado lo suficiente, por ejemplo, por haberse colocado una tuerca o por haber retirado una cabeza de tornillo.

65

Adicional o alternativamente el tornillo enroscado se puede seguir girando después del apriete con un par definido en un valor de ángulo predeterminado, por ejemplo, en 90°. Después de este giro, el par registrado debe encontrarse, con el tornillo correctamente retirado, dentro de una gama especificada.

5

**LISTA DE REFERENCIAS**

	1; 10	Herramienta de sujeción
	1A	Palpador
10	1.1	Saliente (zona de sujeción, contacto de fuerza en unión de forma)
	1.2	Electroimán (zona de sujeción, contacto de fuerza en unión de fuerza)
	2	Pieza de trabajo
	2.1, 2.2	Canto (contorno)
	2.3, 2.4	Brida
15	3.1 - 3.3	Perforación (punto de referencia)
	4	Grapa
	20	Pieza de trabajo
	40	Tapón



## REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de un manipulador, especialmente de un robot, con el paso:  
registro de una fuerza de contacto entre el manipulador y una pieza de trabajo (2; 20) en base a fuerzas de accionamiento reales ( $\tau$ ) y fuerzas de accionamiento ( $\tau_{\text{Modelo}}$ ) de un modelo dinámico ( $M d^2q/dt^2 + h(q, dq/dt) = \tau_{\text{Modelo}}$ ) del manipulador que describe la relación entre magnitudes cinemáticas y fuerzas de accionamiento;  
caracterizado por el paso: ensamblaje de una pieza de trabajo (4; 40) bajo regulación flexible (S130; S230), supervisándose un estado de ensamblaje de la pieza de trabajo ensamblada bajo deformación elástica o plástica en base a un descenso registrado de la fuerza de contacto.
2. Procedimiento según la reivindicación 1 caracterizado por el paso:  
aproximación regulada rígidamente a una posición (S10; S110; S210); así como conmutación a la regulación flexible en base a una fuerza de contacto registrada (S30; S130; S230).
3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado por que en un espacio de tiempo máximo de 3 milisegundos después de producirse un contacto (S20; S120; S220) se cambia a la regulación flexible (S30; S130; S230).
4. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que en la regulación flexible para el ensamblaje de la pieza de trabajo se preestablecen, en especial opcionalmente, tanto, como mínimo una fuerza teórica, como también, como mínimo un movimiento teórico (S130; S230).
5. Procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado por que una estrategia de ensamblaje, en especial una posición de ensamblaje básica, se varía en caso de necesidad, en base a la fuerza de contacto registrada, a la posición final del manipulador alcanzada bajo regulación flexible y/o en base a la velocidad o mayor desviación temporal del manipulador (S150; Fig. 3A→Fig. 3B).
6. Procedimiento para el control de un manipulador según cualquiera de las reivindicaciones anteriores con los pasos:  
sujeción de la pieza de trabajo con el manipulador en, al menos, dos contactos de fuerza (1.1, 1.2);  
colocación de la pieza de trabajo en una posición de ensamblaje básica (Fig. 3A).  
movimiento de la pieza de trabajo en una posición de ensamblaje final (Fig. 3B) anulando al menos un contacto de fuerza (1.2).
7. Procedimiento según la reivindicación 6, caracterizado por que un contacto de fuerza (1.2), anulado especialmente con el movimiento de la pieza de trabajo en la posición de ensamblaje final está unido por fuerza y/o un contacto de fuerza (1.1) mantenido especialmente durante el movimiento de la pieza de trabajo en la posición de ensamblaje final está unido por forma.
8. Dispositivo de control para un manipulador, especialmente un robot, caracterizado por que está diseñado para la realización de un procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores.
9. Producto de programa informático con código de programación que está grabado en un soporte legible para la máquina y que comprende un programa informático que pone en práctica el procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7 cuando se ejecuta en un dispositivo de control según la reivindicación 8.

Fig. 1

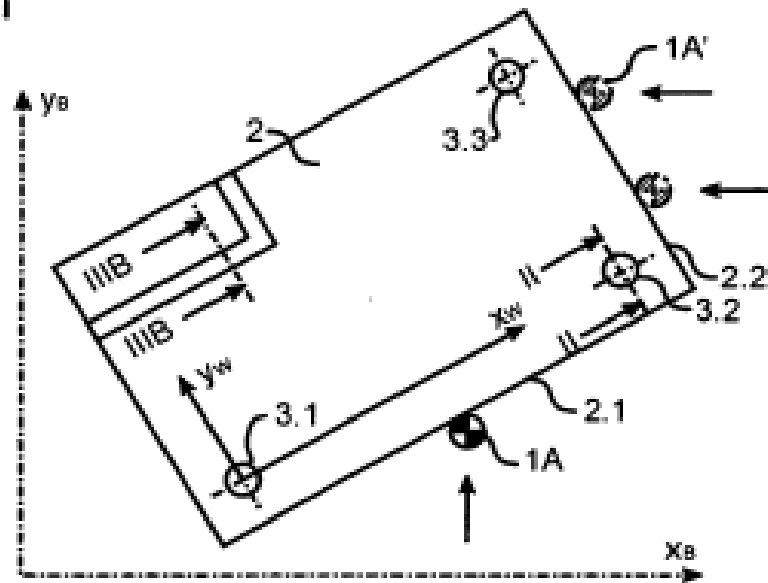


Fig. 2

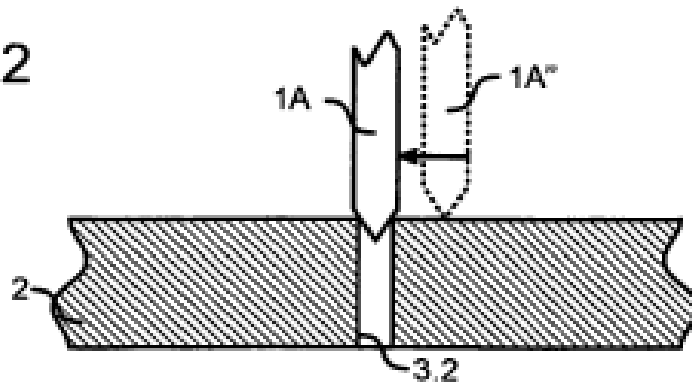


Fig. 3A

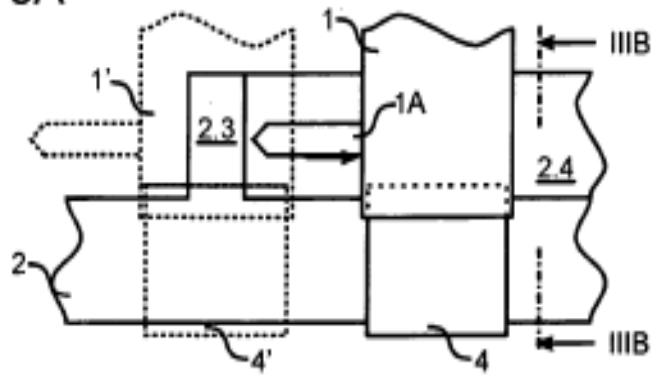


Fig. 3B

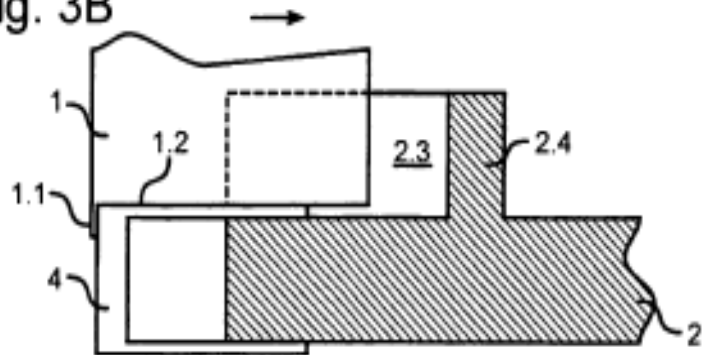


Fig. 3C

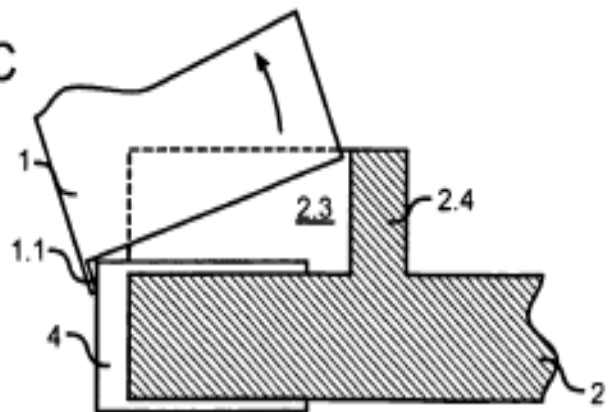


Fig. 4A

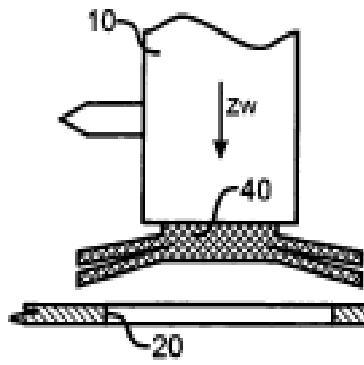


Fig. 4B

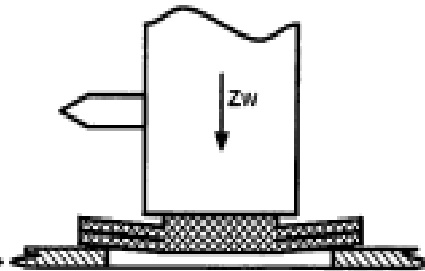


Fig. 4C

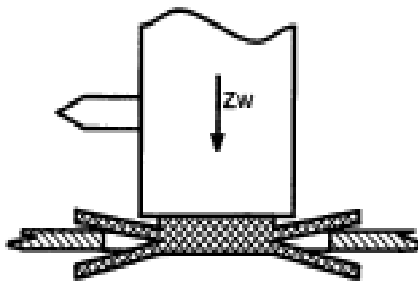


Fig. 4D

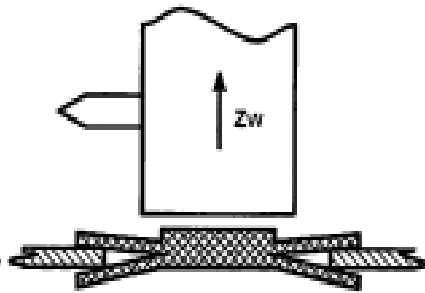


Fig. 5

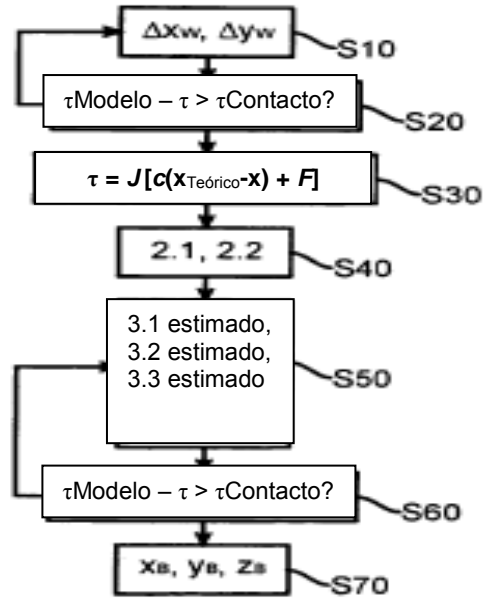


Fig. 6

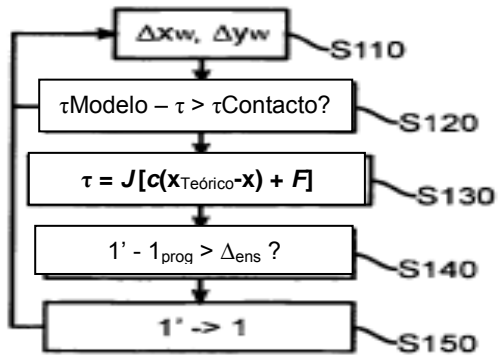


Fig. 7

