

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 573 408**

51 Int. Cl.:

B25J 9/16

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.03.2011** **E 11708435 (0)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **02.03.2016** **EP 2544866**

54 Título: **Procedimiento para montar piezas constructivas mediante un robot industrial**

30 Prioridad:

09.03.2010 DE 102010010718

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

07.06.2016

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

SCHREIBER, GÜNTER y
GERUNG, MICHAEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 573 408 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 para montar piezas constructivas mediante un robot industrial

5 La invención se refiere a un procedimiento para montar una pieza constructiva, que presenta un tramo de introducción y un tramo de sujeción, en una abertura de una pieza de trabajo mediante un robot industrial, que presenta un efector terminal que conduce la pieza constructiva en el tramo de sujeción.

10 El documento EP 1 405 690 A1 describe un robot industrial y un procedimiento para montar una válvula en una perforación destinada a ello de una llanta de rueda de vehículos de motor. Para montar en una ubicación correcta la válvula en la perforación está previsto un sistema de cámara que determina la ubicación exacta de la perforación en la llanta de rueda y la transmite a un sistema de control, que está conectado, para controlar el robot industrial, con este.

15 El documento JP 07-088730 A describe una célula de montaje con dos robots industriales. Un tablero de instrumentos de un vehículo de motor forma una pieza de trabajo que presenta una abertura en la que debe montarse una pieza constructiva. Para ello, el tablero de instrumentos presenta marcas. Uno de ambos robots industriales lleva un sistema de cámara para poder registrar la abertura y las marcas del tablero de instrumentos. A partir de las ubicaciones de la abertura y de las marcas registradas mediante el sistema de cámara se determina una posición de montaje y orientación de montaje para la pieza constructiva y el otro robot industrial, que sujeta la pieza constructiva, se controla correspondientemente para colocar la pieza constructiva en una ubicación correcta con respecto a la pieza de trabajo para su montaje.

25 El documento JP 04-348885 A describe un procedimiento para introducir una pieza constructiva en una abertura de una pieza de trabajo, en el que la pieza constructiva, movida por un robot, se acerca a la abertura. Cuando la pieza constructiva está presente en un borde de la abertura de la pieza de trabajo, la pieza constructiva se gira mediante el robot y se registra y almacena un cambio de la fuerza de contacto. Basándose en el cambio de la fuerza de contacto se establece una dirección de movimiento en la que el robot mueve la pieza constructiva para poder introducirla en una ubicación correcta en la abertura.

30 El documento KRAUS W JR ET AL: "Force fields in the manipulation of flexible materials", IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ROBOTICS AND AUTOMATION. PROCEEDINGS., 1996. MINNEAPOLIS, MN, EE. UU., t. 3, 22 de abril de 1996 (22-04-1996), - 28 de abril de 1996 (28-04-1996), páginas 2352-2357, XP010163108, DOI: 10.1109/ROBOT.1996.506515 se refiere a un procedimiento para montar piezas de trabajo elásticas mediante un movimiento regulado en fuerza del efector terminal de un robot industrial. A este respecto, mediante un planteamiento para insertar una viga solicitada a flexión en la hendidura de una pieza constructiva, el robot industrial se regula de manera que se realiza una aproximación a la pieza constructiva, la viga solicitada a flexión se mueve a lo largo de la superficie de la pieza constructiva hasta que se haya alcanzado la hendidura de la pieza constructiva y a continuación se ejerce una fuerza regulada en dirección de inserción y a la vez se desciende en dirección vertical con una velocidad constante. La fuerza regulada en dirección de inserción se mantiene a este respecto en un valor en el que una deformación de la viga solicitada a flexión se mantiene y, con ello, se conserva el contacto de la viga solicitada a flexión con respecto a la pieza constructiva. Después de que la fuerza de la viga solicitada a flexión deformada supere la adherencia de la viga solicitada a flexión en el borde de hendidura e inserte la viga solicitada a flexión en la hendidura, el robot industrial se regula de manera que la viga solicitada a flexión se mueve a la hendidura de la pieza constructiva en dirección de inserción y las fuerzas transversales con respecto a la dirección de inserción se ponen a cero.

50 El objetivo de la invención es proporcionar un procedimiento mejorado para montar una pieza constructiva en una abertura de una pieza de trabajo.

El objetivo de la invención se soluciona mediante un procedimiento para montar una pieza constructiva que presenta un tramo de introducción y un tramo de sujeción en una abertura de una pieza de trabajo mediante un robot industrial, que presenta un efector terminal que conduce la pieza constructiva en el tramo de sujeción, con las etapas:

- 55 - aproximar el tramo de introducción de la pieza constructiva a la abertura mediante el movimiento del robot industrial;
- aumentar las fuerzas de proceso mediante el robot industrial tras un contacto del tramo de introducción de la pieza constructiva con la pieza de trabajo hasta alcanzar un umbral de fuerza de proceso, almacenándose las fuerzas de proceso en particular en forma de tensiones de material;
- 60 - aumentar la flexibilidad del robot industrial al alcanzar el umbral de fuerza de proceso; y
- realizar un movimiento de centrado pasivo del robot industrial debido a las fuerzas de proceso que queden libres mediante una relajación de material.

65 La pieza constructiva puede ser, en particular, una pieza constructiva elástica como la goma. La pieza constructiva puede presentar, por ejemplo, elastómeros, gomas, es decir, caucho natural vulcanizado, caucho y/o caucho de

5 silicona. Además, la pieza constructiva también puede presentar otros materiales, tales como, por ejemplo, metales, que hasta cierto punto también tienen propiedades elásticas. Si la propia pieza constructiva, es decir, de manera inherente, presenta propiedades elásticas, las fuerzas de proceso pueden almacenarse en forma de tensiones de material en la pieza constructiva. Como alternativa o de forma complementaria, las fuerzas de proceso pueden almacenarse en forma de tensiones de material también en elementos de deformación elástica y/o un efector terminal de deformación elástica del robot industrial y/o reproducirse mediante un funcionamiento regulado en fuerza o pares del robot industrial.

10 Por fuerzas de proceso se entiende en particular aquellas fuerzas de contacto que se crean entre la pieza constructiva y la pieza de trabajo cuando el robot industrial pone en contacto la pieza constructiva con la pieza de trabajo.

15 El umbral de fuerza de proceso representa una fuerza máxima con cuya consecución se almacena un nivel de fuerzas de proceso en particular en forma de tensiones de material en la pieza constructiva elástica, en el elemento de deformación elástica y/o el efector terminal de deformación elástica del robot industrial y/o se reproduce mediante un funcionamiento regulado en fuerza o pares del robot industrial, nivel de fuerzas de proceso que es suficiente para que el robot industrial pueda realizar un movimiento de centrado pasivo al aumentar su flexibilidad.

20 Una flexibilidad, es decir, regulación de flexibilidad del robot industrial, puede alcanzarse en particular mediante una regulación de impedancia en vez de una regulación de admitancia.

25 Una regulación de admitancia se basa en una regulación de posición existente del robot industrial a nivel de articulación. En este caso tienen que medirse las fuerzas generalizadas que actúan desde fuera sobre el robot industrial. Partiendo de estas fuerzas se determina un movimiento del robot industrial correspondiente al comportamiento dinámico deseado que se ordena al robot industrial a través de una cinemática inversa y la regulación de posición de orden inferior.

30 Una regulación de impedancia se basa, al contrario que la regulación de admitancia, en una regulación de pares de giro existente a nivel de articulación. Se mide la desviación de la ubicación real de una ubicación teórica definida y correspondientemente al comportamiento dinámico deseado se determina una fuerza generalizada deseada o fuerzas y pares. Esta fuerza puede reproducirse a través de la cinemática conocida del robot industrial en pares de giro de articulación correspondientes. Los pares de giro pueden ajustarse finalmente a través de la regulación de pares de giro de orden inferior.

35 La consecución de un comportamiento cartesiano deseado puede producirse basándose en una regulación de impedancia de posición, pares de giro o articulación de orden inferior. La realización de estas regulaciones puede alcanzarse mediante la integración de una unidad de sensor de pares en la articulación de un robot industrial. El sensor detecta a este respecto el par de giro unidimensional que actúa en la salida de un engranaje. Puede recurrirse a esta magnitud como magnitud de medición para la regulación y, con ello, posibilita la consideración de la elasticidad de las articulaciones en el marco de la regulación. En particular se miden mediante una unidad de sensor de pares de giro, al contrario que la utilización de un sensor de par de fuerza en el efector terminal, también aquellas fuerzas que se ejercen no sobre el efector terminal, sino sobre los elementos del robot industrial y/o sobre una pieza constructiva sujeta por el robot industrial.

45 Por la característica de un aumento de la flexibilidad puede entenderse en otras palabras un aumento de la afinidad del robot industrial para poder reducir o poner a cero fuerzas perturbadoras que actúan sobre él desde fuera.

50 Por la expresión de un movimiento de centrado pasivo puede entenderse cada movimiento que realiza el robot industrial debido a una actuación de una fuerza exterior, sin que las articulaciones del robot industrial se accionen para su movimiento activo.

55 La abertura puede ser en particular una perforación pasante, una perforación de agujero ciego en la pieza de trabajo o un troquelado de la pieza de trabajo. La abertura puede presentar una forma circular. No obstante, la abertura puede presentar también otros contornos. La abertura puede presentar en particular un contorno muy general, en particular un contorno cóncavo. Así puede presentar por ejemplo el contorno de la abertura, en vez de forma circular, en particular una forma oval o elíptica.

60 Un aumento de la flexibilidad del robot industrial puede producirse mediante un cambio brusco de la flexibilidad. Un aumento de la flexibilidad puede producirse por tanto en un intervalo de tiempo muy corto, de manera que el movimiento pasivo del robot industrial puede tener lugar con aceleraciones aceptablemente elevadas. Así se reducen pérdidas de energía, por ejemplo debido a efectos de rozamiento, de manera que estas energías que queden libres están a disposición para el movimiento pasivo del robot industrial.

65 El cambio brusco de la flexibilidad puede producirse desde un valor de flexibilidad inicial hasta un valor de flexibilidad final en una ventana temporal entre 100 microsegundos y 12 milisegundos. Se ha comprobado como particularmente ventajosa una ventana temporal de 1 milisegundo.

En todas las configuraciones según la invención puede alcanzarse un aumento de la flexibilidad del robot industrial mediante cambio brusco de un parámetro de regulación, en particular la puesta a cero de un factor de amplificación del circuito de regulación que actúa para aumentar las fuerzas de proceso.

5 Además, puede producirse un aumento de la flexibilidad del robot industrial también mediante una conmutación del robot industrial de un funcionamiento regulado en posición a un funcionamiento regulado en fuerza y/o pares. En otras palabras, puede producirse un cambio de la norma de regulación o de las propiedades de robot y, de hecho, de una regulación de admitancia a una regulación de impedancia. Esta conmutación puede producirse en particular
10 repentinamente, es decir, lo más rápido posible.

10 Según la invención pueden almacenarse las fuerzas de proceso en forma de tensiones de material en la pieza constructiva. Como alternativa o de forma complementaria, las fuerzas de proceso pueden almacenarse en la pieza de trabajo en forma de tensiones de material. Las fuerzas de proceso, como alternativa o de manera
15 complementaria, también pueden almacenarse en forma de tensiones de material en un elemento de deformación elástica y/o un efector terminal de deformación elástica del robot industrial. En vez de un almacenamiento real en un elemento de deformación elástica y/o un efector terminal de deformación elástica del robot industrial, puede reproducirse una rigidez de resorte del robot industrial también mediante un funcionamiento regulado en fuerza y/o
20 pares del robot industrial.

20 Una modificación del procedimiento según la invención prevé una repetición de las etapas de uno de los procedimientos descritos cuando la posición real de la pieza constructiva con respecto a la abertura de la pieza de trabajo se desvía de una posición teórica de la pieza constructiva con respecto a la abertura de la pieza de trabajo en más de un valor de tolerancia predefinido. En otras palabras, el procedimiento según la invención se repite dado
25 el caso tantas veces hasta que pueda insertarse la pieza constructiva en la abertura de la pieza de trabajo. Es decir, se conmuta de un lado a otro varias veces dado el caso entre un funcionamiento regulado en posición y un funcionamiento regulado en fuerza o pares.

30 En todas las formas de realización según la invención, al menos el tramo de introducción de la pieza constructiva puede estar configurado en corte transversal en forma circular, la abertura puede ser una abertura circular, de manera que el movimiento de centrado pasivo del robot industrial se realiza exactamente en dirección del centro.

35 Por tanto, la invención proporciona, según la forma de realización, un procedimiento con el que puede insertarse una pieza constructiva en una abertura de una pieza de trabajo, sin que sea necesaria una compleja unidad de sensor para determinar y/o medir la ubicación de la abertura. Tampoco es necesaria ninguna programación especial del dispositivo de control del robot industrial para rastrear activamente la ubicación de la abertura de la pieza de trabajo.

40 En un caso de aplicación ilustrativo de la fabricación de vehículos de motor se trata de piezas moldeadas de goma, tales como, por ejemplo, tapones, que deben introducirse de manera automatizada en una carrocería aún sin tratar de un vehículo de motor para poder barnizar la carrocería con espacios huecos cerrados. Sobre todo en el lado inferior de la carrocería, esta tarea de montaje representa una actividad que hasta ahora era difícil de llevar a cabo
45 manualmente y, por eso, puede automatizarse utilizando un robot industrial.

45 En el caso del procedimiento según la invención se trata en particular de una estrategia especial para encontrar el centro de una abertura, en particular el punto central del orificio de una abertura circular.

50 Al ensamblar existe el problema de que, debido a tolerancias de pieza constructiva de la pieza de trabajo, tales como, por ejemplo, una carrocería en bruto y unidades de suministro en la línea de producción, la posición de inserción no se conoce de manera exacta. Por tanto, hasta ahora el robot industrial tiene que llevar a cabo un recorrido de búsqueda para determinar exactamente el orificio conocido por el modelo idealizado. Solo después comienza la propia operación de ensamblaje. Un recorrido de búsqueda como tal lleva tiempo, es decir, tiempo de
55 ciclo. La invención tiene como objetivo minimizar el tiempo de búsqueda, al menos para una determinada clase de piezas constructivas técnicamente relevantes. En particular, las propiedades de las piezas constructivas, que tienen una rigidez de resorte propia, tales como por ejemplo goma, deben utilizarse de manera hábil.

55 Los denominados robots de estructura liviana tienen distintos tipos de funcionamiento de regulación. Estos se utilizan en la operación de ensamblaje. El robot se dirige por ejemplo en una fase de búsqueda con pieza constructiva agarrada hacia el orificio conocido de modo ideal hasta que percibe una presión de contacto. Durante este recorrido de búsqueda el propio robot está conmutado en rígido, es decir, se hace funcionar regulado en
60 posición. En cuanto el robot percibe una fuerza antagonista, el propio robot se conmuta a suave repentinamente, es decir, se hace funcionar regulado en fuerza/pares. En el caso del robot de estructura liviana del tipo KUKA LBR III, esto puede producirse mediante la orden "TRIG BY CONTACT".

65 En el momento de la conmutación de funcionamiento regulado en posición a funcionamiento regulado en fuerza/pares, la pieza constructiva, debido a su propia rigidez de resorte, aparta a presión el robot, ya que el resorte de la pieza constructiva se relaja. A este respecto puede seleccionarse de manera adecuadamente pequeña la rigidez de resorte del robot.

No obstante, el apartado a presión mediante la pieza constructiva se produce en caso de aberturas o contornos cóncavos, tales como, por ejemplo, perforaciones circulares, siempre en dirección centro o punto central del círculo. Con ello, tras el apartado a presión, el robot está en una posición de inserción más favorable para poder insertar la pieza constructiva con esfuerzo minimizado.

5 Por tanto, según la invención está prevista en particular una conmutación brusca de las rigideces, en cuanto pueda percibirse una fuerza antagonista a partir de la operación de ensamblaje en las articulaciones de robot o en el efector terminal. La propia pieza constructiva se usa, a este respecto, como resorte y depósito de energía para favorecer la operación de ensamblaje.

10 Una inserción precisa de piezas constructivas en aberturas de piezas de trabajo puede producirse, con ello, aprovechando elasticidades y, de hecho, elasticidades que existen en forma de propiedades de material del entorno, propiedades de material de la pieza constructiva que va a ensamblarse, propiedades de robot, tales como sensores de par de giro, propiedades de efector terminal y/o que aparecen de manera virtual en forma de una norma de regulación en el elemento de control.

15 Un aspecto según la invención es, a este respecto, el cambio brusco o repentino de las propiedades de robot o de la norma de regulación, quedando libres las energías almacenadas en las elasticidades. Las energías que quedan libres causan fuerzas de proceso que pueden aprovecharse de manera positiva en cuanto a estabilidad de proceso y reducción del tiempo de ciclo. En general, sobre todo en caso de piezas constructivas y/o aberturas circulares o al menos piezas constructivas convexas y/o aberturas cóncavas, la fuerza de retorno actúa en la dirección correcta, es decir, hacia el centro, para alinear de manera correcta la pieza constructiva que debe ensamblarse.

20 El apartado a presión mediante la pieza constructiva se produce, por tanto, siempre en dirección de punto central del círculo. Con ello, a continuación el robot está en una posición de inserción favorable para insertar la pieza constructiva con tiempo de búsqueda mínimo.

25 En caso de una selección adecuada de los parámetros de rigidez del robot, la componente de fuerza de retorno puede usarse, por tanto, de manera pasiva para acelerar claramente la operación de búsqueda. Tal como se describió anteriormente, el efecto usado se basa en las tensiones a modo de resorte almacenadas en el material. El propio robot representa además un resorte programable, es decir, virtual, que se puede relajar repentinamente. Durante la operación de relajación, el robot se presiona mediante la propia pieza constructiva a una posición ventajosa.

30 El procedimiento no está limitado a la colocación de tapones en la construcción en bruto de carrocerías, sino que puede ampliarse a todas las piezas moldeadas que poseen una constante de resorte significativa propia, es decir, rigidez de material. La forma de orificio de la abertura en la pieza de trabajo, por ejemplo como círculo o elipse, favorece el efecto ventajosamente, aunque tampoco es limitante a un sola, es decir, también pueden tratarse otras clases de formas con el procedimiento.

35 En principio se usan las elasticidades existentes, es decir, verdaderas del entorno y del robot y las elasticidades virtuales como depósito de energía. Para ello se conmuta a rígido el propio robot al principio. Esto puede producirse en forma de una regulación de posición descrita. Entonces efectúa con el robot un recorrido hasta presión de contacto, es decir, la pieza constructiva se pone en contacto con la abertura en la pieza de trabajo y se cargan los depósitos de energía de resorte existentes. Una orden de robot, tal como, por ejemplo, la orden "TRIG BY CONTACT" del robot de estructura liviana del tipo KUKA LBR III se encarga de que, en caso de superación de un umbral de fuerza, el robot pueda conmutarse a suave repentinamente. La energía existente en el sistema conjunto, en particular potencial, puede liberarse con ello repentinamente.

40 En caso de todas las operaciones de ensamblaje y operaciones de montaje de tal tipo, la fuerza que queda libre puede una dirección que favorece al proceso, tal como se muestra en el ejemplo anterior de objetos en forma circular. En general, una única pasada de tal secuencia es suficiente. No obstante, la pasada puede repetirse en caso necesario.

45 No obstante, el efecto de depósito de energía también puede realizarse mediante un elemento de resorte pasivo en el efector terminal, por ejemplo en el gancho o como pieza intermedia entre brida y gancho. Tal como se describió anteriormente puede realizarse la misma secuencia programática en tal realización.

50 Al ensamblar piezas constructivas rígidas, tales como, por ejemplo, pernos de metal en orificio de metal, la rigidez de resorte necesaria puede proceder también del propio robot, es decir, mediante arriostramiento mecánico de los elementos de robot, o la rigidez de resorte necesaria puede generarse incluso de manera virtual, siempre y cuando la rigidez de entorno no sea suficiente.

55 Un procedimiento según la invención se explica a modo de ejemplo con las figuras adjuntas. Muestran:

60 la figura 1, un robot industrial con efector terminal durante un proceso de montaje; y

la figura 2, un diagrama de flujo como ejemplo de un procedimiento según la invención.

En la Figura 1 está representado un robot industrial 1. A modo de ejemplo, en el ejemplo de realización según la invención representado se trata de un robot de estructura liviana del tipo KUKA LBR III. El robot industrial 1 presenta en su brida manual 2 un efector terminal 3. El efector terminal 3 puede denominarse también gancho. El efector terminal 3 representado presenta dos mordazas de gancho 4 y 5 que se pueden mover una con respecto a otra. Entre las mordazas de gancho 4 y 5, una pieza constructiva 6 está sujeta en un tramo de sujeción 7 de la pieza constructiva. El robot industrial 1 presenta elementos 12 que están conectados entre sí mediante articulaciones 8. Mediante el movimiento de las articulaciones 8 del robot industrial 1 se mueve el efector terminal 3 y la pieza constructiva 6. La pieza constructiva 6 presenta al lado del tramo de sujeción 7 un tramo de introducción 9. Mediante el procedimiento según la invención, el tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 debe insertarse en una abertura 10 de una pieza de trabajo 11 mediante el robot industrial 1.

En la Figura 2 está representada de manera esquemática una forma de realización de un procedimiento según la invención. En una primera etapa S1 de un recorrido de aproximación se produce una aproximación del tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 a la abertura 10 mediante el movimiento del robot industrial 1. La aproximación puede producirse en un funcionamiento regulado en posición del robot industrial 1.

Después se produce en una segunda etapa S2 tras el contacto de la pieza constructiva 6 o del tramo de introducción 9 con la pieza de trabajo 11 o un borde 13 de la abertura 10 un aumento de fuerzas de proceso mediante el robot industrial 1 tras el contacto del tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 con la pieza de trabajo 11 hasta alcanzar un umbral de fuerza de proceso P. A este respecto se almacenan las fuerzas de proceso en particular en forma de tensiones de material en la pieza constructiva 6, el efector terminal 3 y/o el robot industrial 1.

A continuación se produce al alcanzar el umbral de fuerza de proceso o tras superar el umbral de fuerza de proceso P, en una tercera etapa S3, un aumento de la flexibilidad del robot industrial 1. El aumento de la flexibilidad del robot industrial 1 puede producirse mediante un cambio brusco de la flexibilidad. El cambio de la flexibilidad puede ser una conmutación de un funcionamiento regulado en posición a un funcionamiento regulado en fuerza/pares del robot industrial 1.

Tras el aumento de la flexibilidad del robot industrial 1 o de la conmutación del robot industrial 1 de un funcionamiento regulado en posición a un funcionamiento regulado en fuerza/pares, el robot industrial 1 realiza en una cuarta etapa S4 un movimiento de centrado pasivo debido a las fuerzas de proceso que quedan libres mediante una relajación de material. Es decir, el robot industrial 1 no se mueve de manera activa mediante control de accionadores de las articulaciones 8, sino que el robot industrial 1 se aparta a presión de manera pasiva mediante las fuerzas de proceso que quedan libres debido a una relajación de material, es decir, en particular mediante fuerzas externas que actúan sobre la estructura del robot industrial 1. En una variación de la invención se produce un movimiento de centrado pasivo mediante una relajación de relajaciones de material de la estructura de robot, es decir, debido a fuerzas internas del robot industrial 1 y/o debido a una rigidez de resorte del robot industrial 1, que está reproducida mediante un funcionamiento regulado en fuerza y/o pares del robot industrial 1.

En otra etapa S5 opcional, tras el centrado de la pieza constructiva 6 con respecto a la abertura 10 de la pieza de trabajo 11, puede volver a reducirse la flexibilidad del robot industrial 1 o conmutarse de nuevo de un funcionamiento regulado en fuerza y/o pares del robot industrial 1 a un funcionamiento regulado en posición. En caso de que en una etapa S6 sea posible un ensamblaje del tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 en la abertura 10, la pieza constructiva 6 estará ya montada y la operación de montaje, terminada.

Si aún no es posible un ensamblaje del tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 en la abertura 10, las etapas S2 a S5 según una de las formas de realización del procedimiento según la invención pueden repetirse y/o variarse una vez o, dado el caso, varias veces.

Una repetición de las etapas S2 a S5 del procedimiento puede llevarse a cabo en particular cuando la posición real de la pieza constructiva 6 con respecto a la abertura 10 de la pieza de trabajo 11, de una posición teórica de la pieza constructiva 6 con respecto a la abertura 10 de la pieza de trabajo 11, se desvía en más de un valor de tolerancia predefinido.

Al menos el tramo de introducción 9 de la pieza constructiva 6 puede estar configurado en corte transversal en forma circular o la abertura 10 puede ser una abertura circular, de manera que el movimiento de centrado pasivo del robot industrial 1 se realiza exactamente en dirección del centro.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento para montar una pieza constructiva (6), que presenta un tramo de introducción (9) y un tramo de sujeción (7), en una abertura (10) de una pieza de trabajo (11) mediante un robot industrial (1), que presenta un efector terminal (3) que conduce la pieza constructiva (6) en el tramo de sujeción (7), con las siguientes etapas:
- aproximar (S1) el tramo de introducción (9) de la pieza constructiva (6) a la abertura (10) mediante el movimiento del robot industrial (1);
 - 10 - aumentar fuerzas de proceso (S2) mediante el robot industrial (1) tras un contacto del tramo de introducción (9) de la pieza constructiva (6) con la pieza de trabajo (11) hasta alcanzar un umbral de fuerza de proceso (P), almacenándose las fuerzas de proceso en particular en forma de tensiones de material;
- caracterizado por las etapas:
- 15 - aumentar la flexibilidad (S3) del robot industrial (1) al alcanzar el umbral de fuerza de proceso (P); y
 - realizar un movimiento de centrado (S4) pasivo del robot industrial (1) debido a las fuerzas de proceso que quedan libres mediante una relajación de material.
- 20 2. Procedimiento según la reivindicación 1, en el que se produce un aumento de la flexibilidad (S3) del robot industrial (1) mediante un cambio brusco de la flexibilidad.
- 25 3. Procedimiento según la reivindicación 2, en el que el cambio brusco de la flexibilidad de un valor de flexibilidad inicial a un valor de flexibilidad final se produce en una ventana temporal entre 100 microsegundos y 12 milisegundos, en particular de 1 milisegundo.
- 30 4. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 3, en el que se produce un aumento de la flexibilidad (S3) del robot industrial (1) mediante cambio brusco de un parámetro de regulación, en particular puesta a cero de un factor de amplificación, del circuito de regulación que actúa para aumentar las fuerzas de proceso.
- 35 5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 4, en el que se produce un aumento de la flexibilidad (S3) del robot industrial (1) mediante una conmutación del robot industrial (1) de un funcionamiento regulado en posición a un funcionamiento regulado en fuerza y/o pares.
- 40 6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 5, en el que las fuerzas de proceso se almacenan en forma de tensiones de material en la pieza constructiva (6) y/o pieza de trabajo (11).
- 45 7. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 6, en el que las fuerzas de proceso se almacenan en forma de tensiones de material en un elemento de deformación elástica (12) del robot industrial (1).
- 50 8. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 7, en el que las fuerzas de proceso se almacenan en forma de tensiones de material en un elemento de deformación elástica (12) y/o un efector terminal de deformación elástica (3) del robot industrial (1).
- 55 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8, en el que las fuerzas de proceso se almacenan al reproducirse una rigidez de resorte del robot industrial (1) mediante un funcionamiento regulado en fuerza y/o pares del robot industrial (1).
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 9 que presenta la etapa adicional:
- repetir las etapas del procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 8 si la posición real de la pieza constructiva (6) con respecto a la abertura (10) de la pieza de trabajo (11) se desvía de una posición teórica de la pieza constructiva (6) con respecto a la abertura (10) de la pieza de trabajo (11) en más de un valor de tolerancia predefinido.
11. Procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 10, en el que al menos el tramo de introducción (9) de la pieza constructiva (6) está configurado en forma circular en el corte transversal, la abertura (10) es una abertura circular, de manera que se ejecuta el movimiento de centrado pasivo del robot industrial (1) en dirección del centro.

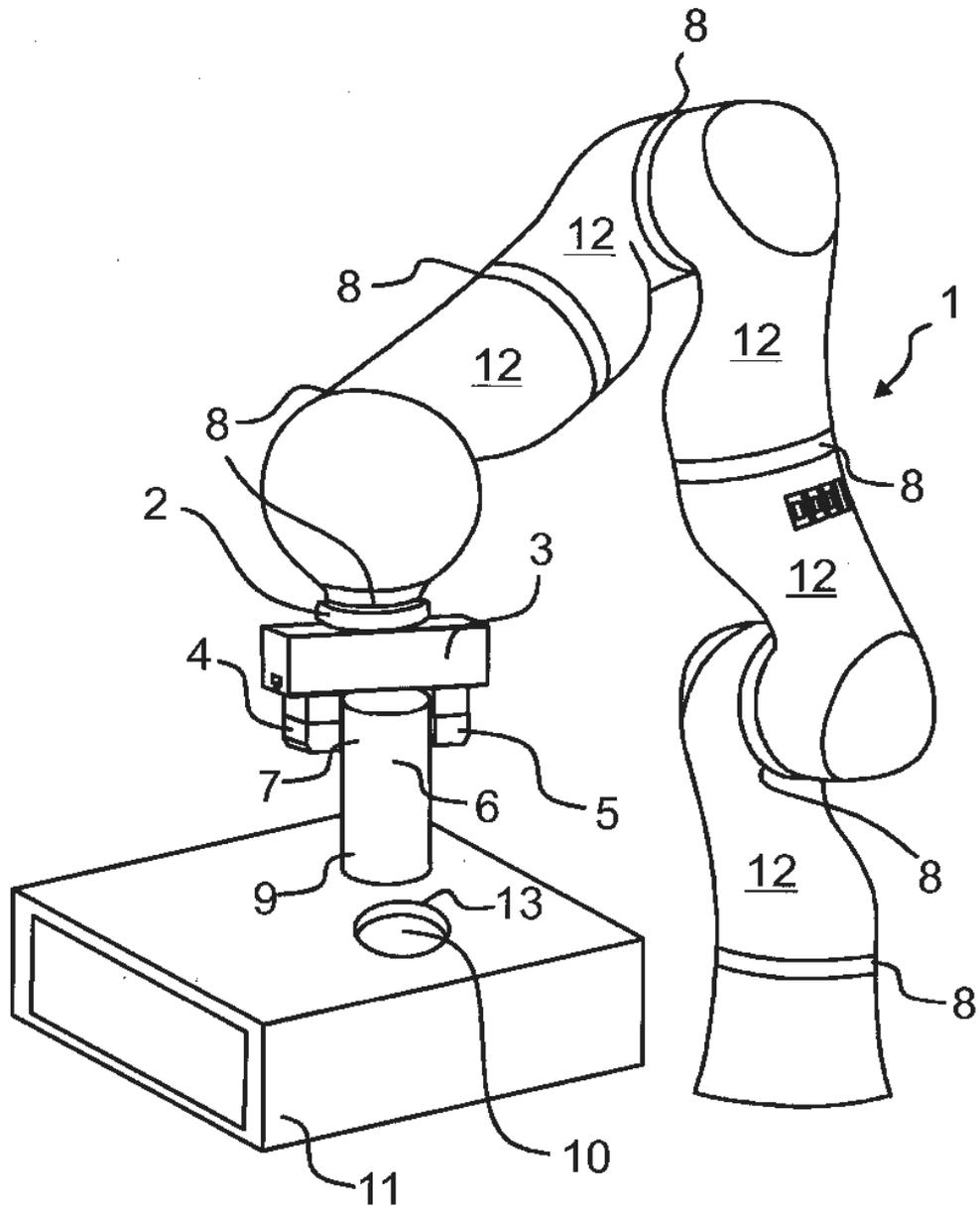


Fig. 1

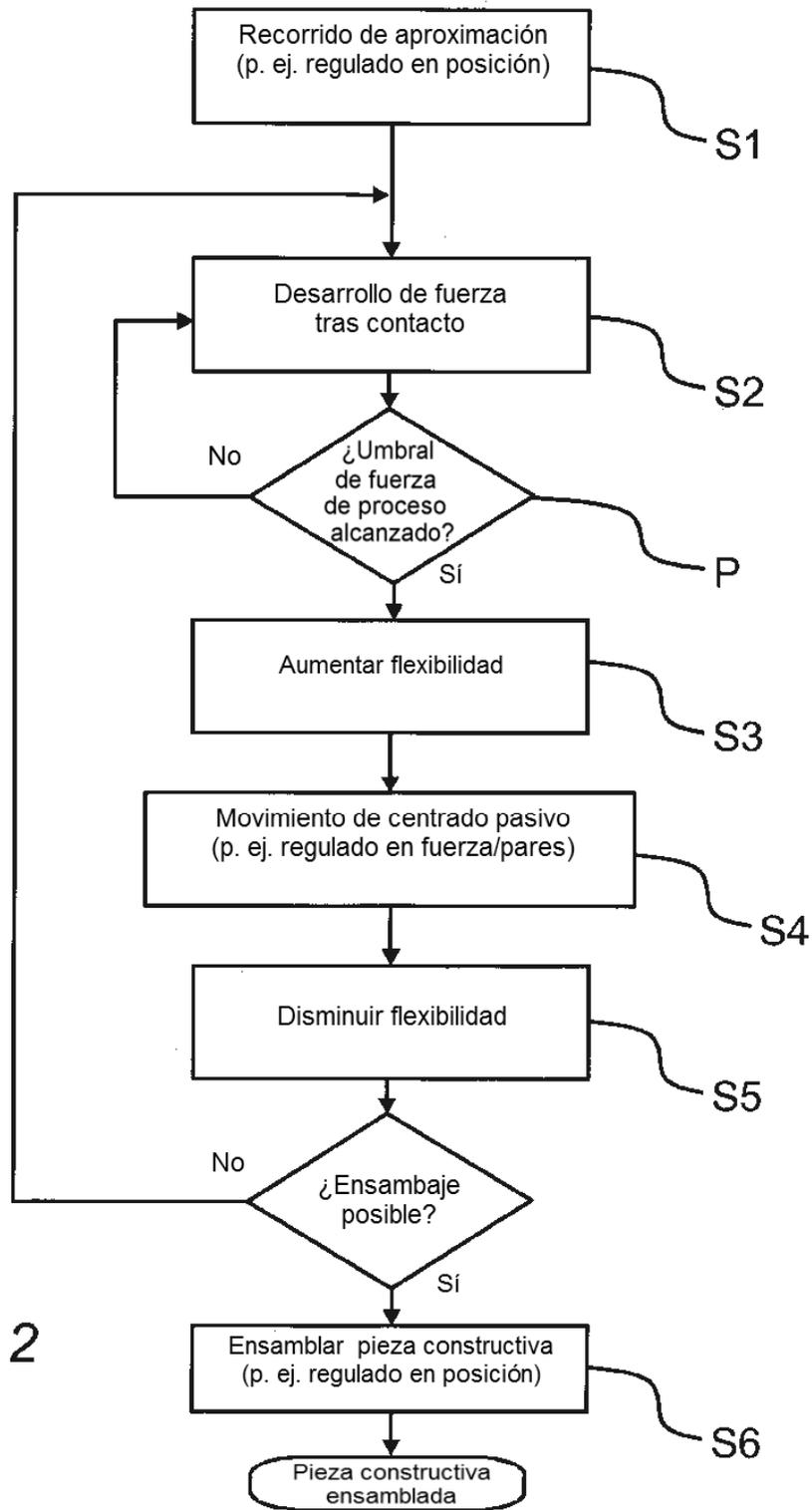


Fig. 2