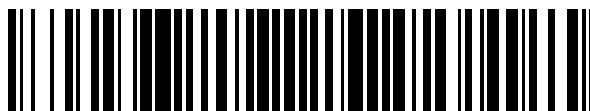


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 005**

51 Int. Cl.:

G05B 19/42 (2006.01)

B25J 9/16 (2006.01)

B25J 11/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.07.2013 E 13382257 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.02.2017 EP 2821872**

54 Título: **Célula robotizada, instalación y método para eliminar rebabas de piezas**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
10.07.2017

73 Titular/es:

GETTING ROBOTIKA S.L. (50.0%)
Pol. Industrial Isasia, Pab. Industrial s/n, nave 4
31800 Alsasua (Navarra), ES y
ALDAKIN S.L. (50.0%)

72 Inventor/es:

MARINELARENA GALARZA, IKER;
ETXEBERRIA MARTÍNEZ, ÍÑIGO y
LÓPEZ DE ALDA ARRESE, FRANCISCO

74 Agente/Representante:

VALLEJO LÓPEZ, Juan Pedro

ES 2 623 005 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

Célula robotizada, instalación y método para eliminar rebabas de piezas

5 Campo técnico

La presente invención pertenece al campo de la fabricación de piezas de gran tamaño, tales como piezas de fundición o forja o piezas para la construcción de aeronaves, palas de turbinas eólicas u otras; y más concretamente al campo de las herramientas para eliminar las rebabas de dichas piezas.

10

Antecedentes de la invención

En los procesos de fabricación de piezas de gran tamaño es habitual que estas piezas presenten imperfecciones. Por ejemplo, las piezas suelen tener porciones de materia sobrante que sobresale irregularmente en sus bordes o en su superficie. A estas porciones de materia sobrante se les denomina rebabas. Es necesario por tanto eliminar el material en exceso en los bordes o superficie de la pieza como consecuencia del proceso de fabricación. En el caso de piezas de fundición o forja este material es metálico. En el caso de otras piezas, como palas de turbinas eólicas, suele ser un compuesto.

15

Habitualmente estas rebabas se eliminan mediante una herramienta de rebabado, esmerilado o desbastado. Estos procesos son difíciles de automatizar mediante un robot, ya que el robot va siempre a unas posiciones fijas programadas y, en el caso de grandes piezas, las tolerancias con las que se ha obtenido la pieza pueden ser incluso mayores que el tamaño de la rebaba a eliminar, es decir, que la punta de la herramienta puede ir a una posición en la que no hay pieza, en el caso de una tolerancia negativa muy grande, o chocar contra la pieza en tolerancias positivas muy grandes. Esto es especialmente habitual en piezas de fundición o forja, donde las tolerancias de fabricación son muy elevadas. En otras palabras, la automatización de un proceso de eliminación de rebabas y esmerilado de una pieza de gran tamaño es muy compleja.

20

25

Además, el robot tiene que adaptarse a la forma de la pieza, para lo cual deben programarse las distintas configuraciones de piezas. Esto complica mucho la automatización con robot cuando existen muchas diferencias en las piezas.

30

Otro problema es que las piezas que se desea perfeccionar no siempre pueden estar amarradas en un utillaje (equipo) en una posición predeterminada.

35

A continuación se describen algunas herramientas o células de esmerilado o desbastado usadas habitualmente.

Por una parte, existen células de esmerilado de piezas pequeñas, del tipo pomos de puerta, cerrajería, ferretería, y en general piezas no mayores de unos 20 kg. La programación de estas células es fija. Como la pieza es pequeña, la programación de las trayectorias y sus ajustes no es muy laboriosa. El objetivo de estas células suele ser mejorar el acabado superficial, ya que la pieza normalmente tiene las dimensiones correctas. El robot mueve la pieza y la herramienta de desbaste es fija. Estas células suelen usar abrasivos suaves ya que no tienen que arrancar mucho material. Su control es por tanto sencillo. Sin embargo, estas células son adecuadas para eliminar rebabas en piezas de grandes dimensiones, ya que es imposible que un robot traslade una pieza de estos tamaños. Por último, para grandes piezas de forjado no se pueden utilizar abrasivos suaves por los tiempos de ciclo a máquina.

40

45

Por otra parte, existen células de esmerilado de piezas de metales relativamente "blandos". Estas piezas son generalmente piezas de aluminio (por ejemplo, bloques de motor). El objetivo de estas células suele ser repasar los bordes y eliminar las rebabas. Estas piezas se caracterizan por que el material que se desea arrancar (las rebabas) siempre está situado en la misma posición. La programación en las células existentes es bastante compleja y laboriosa, siendo siempre de trayectorias fijas. Además, puesto que la herramienta de eliminar rebabas es mucho más dura que el material que se va a arrancar, no se necesita controlar esta variable. Es preciso que la pieza esté amarrada con precisión. Sin embargo, estas células no son adecuadas para eliminar rebabas en piezas de grandes dimensiones, por ejemplo de forja, ya que el método de programación de las trayectorias no es válido debido a que el material a arrancar no está situado siempre en la misma posición. Además, amarrar una pieza de estas dimensiones y pesos con precisión es muy complejo y costoso. Por último, el material de la herramienta de desbaste se va desgastando a medida que se va arrancando material, por lo que hay que controlar esta variable.

50

55

Son conocidas también las células de desbaste de piezas pequeñas de acero. La misión de estas células suele ser repasar los bordes y quitar las rebabas de los mismos. Como en el caso anterior, el material sobrante siempre está situado en la misma posición. La programación en las células existentes es bastante compleja, siendo siempre de trayectorias fijas. La herramienta de rebabado suele ser de corte o mecanizado con ataque paralelo, por lo que no necesita controlar su desgaste continuamente. Como en el caso anterior, la pieza tiene que estar amarrada con precisión. Sin embargo, para algunas piezas de grandes dimensiones, tales como las de forja abierta, no es suficiente con repasar los bordes, sino que es necesario un esmerilado de toda la superficie, que no es posible con este tipo de herramienta. Además, como ya se ha mencionado, amarrar una pieza de estas dimensiones y pesos

60

65

con precisión es muy complejo y costoso. Y como en el caso anterior, el material de la herramienta de desbaste se va desgastando a medida que se va arrancando material, por lo que hay que controlar esta variable.

5 Por último, se conocen las células de esmerilado de piezas de acero planas. Este esmerilado se realiza con automatismos con dos ejes de libertad, por lo que su programación es sencilla. En algunos casos se utilizan técnicas de CNC (Control Numérico por Computadora). Normalmente, la programación de los movimientos se realiza por capas. Estas células tienen mucha capacidad de arranque de material y controlan la presión ejercida. Algunas herramientas de desbaste controlan incluso su propio desgaste. Sin embargo, estas herramientas tampoco se pueden usar para eliminar las rebabas de piezas de grandes dimensiones, por varias razones: permiten pocos grados de libertad para llegar a toda la superficie de la pieza; la programación por capas aumenta el tiempo de ciclo a máquina, lo que lo hace ineficiente; y la herramienta de desbaste tiene que ser potente pero compacta.

10 La patente de Estados Unidos US5331770-A divulga un método para rascar automáticamente una porción excesiva de una pieza de trabajo mediante una herramienta de corte.

15 La solicitud de patente internacional WO97/17173-A1 divulga una célula de mecanizado para mecanizar una pieza. La célula comprende un robot y una herramienta unida al robot para retirar material de la superficie de la pieza.

20 Descripción de la invención

La presente invención trata de superar los inconvenientes mencionados anteriormente derivados de la automatización de los procesos de desbaste o eliminación de rebabas en piezas de gran tamaño y al menos una superficie curva.

25 Así, en un primer aspecto de la invención, se proporciona una célula robotizada para eliminar rebabas o excesos de material en piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva, que comprende una base y un robot de al menos 6 ejes de libertad, en el que el robot comprende medios de conexión para, en funcionamiento, llevar instalado un útil de esmerilado y un sistema de escaneo, en el que dicho sistema de escaneo está configurado para inspeccionar la forma de la pieza a rebabar y captar su posición, y en el que el útil de esmerilado comprende a su vez un sistema de control configurado para controlar la fuerza de contacto ejercida sobre la pieza a rebabar y un electromandrino configurado para incorporar y, en uso, hacer girar, un elemento abrasivo, de forma que el robot está configurado para, en funcionamiento, y con respecto a una trayectoria teórica previamente programada, adaptar su trayectoria a partir de la información obtenida mediante el sistema de escaneo y mediante el sistema de control, de forma que el elemento abrasivo ataque a la pieza con el ángulo y presión óptimos predefinidos para cada punto de la superficie de la pieza.

30 Preferentemente, el sistema de escaneo es un sistema de visión artificial de tres dimensiones que comprende una cámara y un software, estando el sistema de visión artificial configurado para trabajar por triangulación.

40 Preferentemente, el sistema de control está configurado para ejercer un movimiento de compensación en la dirección normal a la pieza a rebabar mediante un compensador.

45 La célula robotizada está configurada para coger el útil de esmerilado con cuatro orientaciones diferentes alternativas: en una primera configuración, el sistema de control está conectado a la brida del robot a través de un primer conector y el electromandrino está conectado al cambiador rápido de herramienta del sistema de control a través de un primer conector; en una segunda configuración, el sistema de control está conectado a la brida del robot a través de dicho primer conector y el electromandrino está conectado al cambiador rápido de herramienta del sistema de control a través de un segundo conector, quedando el electromandrino situado de forma perpendicular con respecto a su posición en la primera configuración; en una tercera configuración, el sistema de control está conectado a la brida del robot a través de un segundo conector y el electromandrino está conectado al cambiador rápido de herramienta del sistema de control a través de dicho primer conector; y en una cuarta configuración, el sistema de control está conectado a la brida del robot a través de dicho segundo conector y el electromandrino está conectado al cambiador rápido de herramienta del sistema de control a través de dicho primer conector, quedando el sistema de control en la tercera y cuarta configuración situado de forma perpendicular con respecto a su posición en la primera y segunda configuración.

50 En un segundo aspecto de la invención, se proporciona una instalación para eliminar rebabas de piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva, que comprende la célula robotizada anterior. El robot está situado sobre un soporte. La instalación comprende además una mesa que lleva colocado un plato giratorio configurado para recibir la pieza a desbastar.

55 Preferentemente, el soporte y la mesa son fijos y el plato giratorio es giratorio.

60 En una posible realización, el plato giratorio comprende medios de amarre para amarrar la pieza a desbastar.

65 En una posible realización, el soporte sobre el que está situado el robot está situado sobre una vía desplazable.

La instalación está preferentemente configurada para desbastar piezas de fundición o forja de más de 100 Kg de peso.

5 En un tercer aspecto de la invención, se proporciona un método para controlar la trayectoria de un robot para eliminar rebabas de piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva. El método tiene las etapas de: seleccionar una pieza a desbastar; cargar un programa que comprende un modelo teórico de dicha pieza seleccionada; escanear tridimensionalmente la pieza y obtener la posición real de la pieza; si la posición real de la pieza es la misma que la posición con la que se han programado previamente unas trayectorias teóricas, cargar un programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a desbarbar; en caso contrario, modificar el sistema de
10 coordenadas que se ha considerado como referencia en la programación previa de las trayectorias teóricas según la desviación obtenida con el escaneado, y a continuación cargar un programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a desbarbar; comprobar la configuración del útil de rebabado que tiene el robot; si la configuración del útil de rebabado permite llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, comprobar el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado; en caso contrario, cambiar la configuración del útil de rebabado y una vez elegida una
15 configuración del útil de rebabado que consigue llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, comprobar el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado; si el elemento abrasivo es el adecuado para desbastar la zona seleccionada, comparar la nube de puntos obtenida con el escaneo con la superficie del modelo teórico; en caso contrario, cambiar el elemento abrasivo y una vez elegido el adecuado, comparar la nube de puntos obtenida con el escaneo con la superficie del modelo teórico; si la desviación en la comparación está dentro de un umbral de tolerancia prefijado, ejecutar el programa de rebabado de la zona seleccionada; en caso contrario, post-procesar el programa de rebabado de la zona, cargar el programa modificado y ejecutar el programa de rebabado para la zona seleccionada.

25 Preferentemente, en dicha etapa de comprobar el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado se comprueba el tipo de elemento abrasivo y su estado de desgaste.

Preferentemente, la etapa de post-procesar el programa de rebabado comprende añadir a cada punto de la trayectoria las variables de velocidad del robot, velocidad de rotación del útil de rebabado y presión ejercida sobre la pieza.

30 Finalmente, se proporciona un programa informático diseñado para ejecutar las etapas del método anterior.

Las ventajas y características adicionales de la invención serán evidentes desde la descripción detallada que sigue y serán particularmente señaladas en las reivindicaciones adjuntas.

35 **Breve descripción de los dibujos**

Para complementar la descripción y con objeto de ayudar a una mejor comprensión de las características de la invención, de acuerdo con un ejemplo de realización práctica de la misma, se acompaña como parte integrante de la descripción, un juego de figuras en el que con carácter ilustrativo y no limitativo, se ha representado lo siguiente:

la figura 1 muestra un esquema de una instalación para desbastar piezas de gran tamaño, de acuerdo con una posible realización de la invención.

La figura 2 muestra una vista de la instalación de la figura 1.

45 La figura 3 muestra una vista alternativa del carro y soporte sobre el que se coloca la pieza a desbastar, de acuerdo con una posible realización de la invención.

Las figuras 4A y 4B muestran una posible realización del útil de esmerilado, que incluye un electromandrino con elemento abrasivo y un sistema de control.

50 La figura 5 muestra un esquema de un electromandrino con un elemento abrasivo, de acuerdo con una posible realización de la invención.

Las figuras 6A-6B muestran una primera posible configuración del útil de esmerilado instalado en el robot.

Las figuras 7A-7B muestran una segunda posible configuración del útil de esmerilado instalado en el robot.

Las figuras 8A-8B muestran una tercera posible configuración del útil de esmerilado instalado en el robot.

Las figuras 9A-9B muestran una cuarta posible configuración del útil de esmerilado instalado en el robot.

55 La figura 10 muestra un diagrama de flujo del método de control adaptativo del robot de la invención.

La figura 11 muestra un esquema de las comunicaciones entre los diferentes elementos de la instalación.

Descripción de un modo de realización de la invención

60 A continuación se describe un modo de realización del robot y la célula (o instalación) y el método de la invención, para quitar las rebabas que quedan en las piezas de gran tamaño.

A lo largo de este texto, se utilizan indistintamente los términos “desbastar”, “eliminar rebabas” o “esmerilar”, para referirse a la acción de pulir o eliminar rebabas o excesos de material en piezas de gran tamaño. No debe tenerse en cuenta cualquier matiz de cualquiera de esos términos que pueda constreñirse en algún contexto a algún tipo de material concreto o a alguna actividad industrial específica. Por el contrario, se emplean estas expresiones con la

intención de describir la acción de eliminar rebabas o material sobrante en piezas de gran tamaño.

En el contexto de la presente invención, se entiende por célula el conjunto formado por un robot configurado para desbastar las rebabas de piezas y el carro con soporte giratorio sobre el que se coloca la pieza a desbastar. En este texto, se utiliza indistintamente el término "célula", "instalación" o "estación" para referirse al mencionado conjunto.

Por otra parte, se entiende por "piezas grandes" o "piezas de gran tamaño" aquellas cuyo peso supera aproximadamente los 100 kg, y preferentemente los 150 kg. Además, la célula está configurada para trabajar correctamente con piezas de hasta 50 toneladas o incluso varias docenas más de toneladas. Ha de entenderse que la célula funciona correctamente con piezas de menor tamaño (de menos de 100 Kg), pero su valor añadido se potencia en piezas de más de 100Kg, ya que para piezas menores, existen otras soluciones que funcionan más o menos correctamente.

La figura 1 muestra un esquema de una célula de esmerilado o instalación para desbastar, esmerilar o quitar rebabas de piezas de gran tamaño que tengan al menos una superficie curva, ya sea cóncava o convexa. La instalación está formada por un robot 10 situado sobre un soporte 27 y una mesa 16 que comprende un plato giratorio sobre el que se coloca un utillaje (equipo) 18 que a su vez recibe y soporta la pieza 19 que se va a desbastar. El soporte 27 y la mesa 16 son fijos. El plato giratorio permite el giro completo (360°) en ambos sentidos. Es decir, puede girar sin tope en ambos sentidos. El robot 10 es un robot de al menos 6 ejes de movimiento. El robot 10 tiene una base 17, un primer brazo 101 unido a la base 17 del robot y un segundo brazo 102 unido al extremo del primer brazo 101 que no está unido a la base. En el extremo del segundo brazo 102 se instala la herramienta o útil de esmerilado propiamente dicho. La pieza 19 que se desea desbastar permanece sustancialmente fija sobre el utillaje (equipo) 18. La pieza 19 permanece quieta con respecto al sistema de coordenadas del utillaje (equipo) 18, pero se mueve gracias al plato giratorio con respecto a la mesa 16 (puesto que el plato gira con respecto a la mesa 16).

En la figura 1 se identifican siete grados de libertad de la célula, de los cuales seis están en el robot 10: un grado de libertad en la base del robot, dos grados de libertad en el primer brazo 101, dos grados de libertad en el segundo brazo 102 y un último grado de libertad en el elemento de acoplamiento del útil de esmerilado; y un séptimo grado de libertad en el giro del plato giratorio. En la figura 1 se indican estos siete ejes de movimiento. La figura 2 muestra una vista de la instalación de la figura 1. En una realización particular, ilustrada en la figura 2, el soporte 27 se sitúa sobre una vía lineal, unidad lineal o armazón tipo pórtico 20 que se mueve a lo largo de un eje, constituyendo esta vía lineal 20 un octavo grado de libertad. En otra realización particular, no ilustrada, el soporte 27 se sitúa sobre una vía que puede moverse sobre dos o incluso tres ejes, proporcionando esa vía un noveno (en el caso de dos ejes) y un décimo (en el caso de tres ejes) grados de libertad. La vía, ya sea lineal o no, se utiliza en aplicaciones que requieran desbastar piezas con partes de difícil acceso con los siete grados de libertad de la célula.

El robot 10 incorpora al menos los siguientes elementos o equipos: un útil de esmerilado (que se ilustra en detalle en las figuras 4A-4D) y un sistema de escaneo 11. El útil de esmerilado está a su vez formado al menos por un sistema de control 13 para la fuerza de contacto ejercida sobre la pieza 19 y un electromandrinó 12 que a su vez incorpora y hace girar un elemento abrasivo 14. Más adelante se detalla cada uno de estos elementos.

La figura 3 muestra un detalle de la mesa 16 y utillaje (equipo) 18 sobre el que se coloca la pieza a desbastar. Sobre el plato giratorio 16A se coloca la pieza 19 para que pueda ser rebabada y/o desbastada de forma automatizada, tal y como se detalla más adelante. La pieza 19 puede estar amarrada en un utillaje (equipo) 18 en una posición determinada o no amarrada. Como puede entenderse, en función del tamaño y forma de la pieza, será o no necesario amarrarla. Es de destacar que la célula de la invención está especialmente diseñada para trabajar correctamente en el caso en que la pieza 19 no esté perfectamente colocada (con mucha precisión). En otras palabras, no hace falta colocar con precisión la pieza con elementos adicionales. En una posible realización, el utillaje (equipo) comprende medios de amarre. En una realización más particular, los medios de amarre son mordazas hidráulicas. En la figura 3, se ilustra el elemento de amarre 18, que en este caso son unas mordazas hidráulicas.

El dispositivo está especialmente diseñado para desbastar piezas de gran tamaño que tienen al menos una superficie curva, ya sea cóncava o convexa. En la figura 2, que ilustra una vista y posición de la misma instalación de la figura 1, se aprecia una pieza curvada con forma de gancho. En ese caso, la pieza 19 es una pieza metálica producida por fundición o forja. Los ejemplos no limitativos de piezas que pueden desbastarse con la instalación de la invención son: piezas de fundición o forja, donde la tolerancia es muy elevada; piezas para la construcción de aeronaves, palas de turbinas eólicas u otras piezas utilizadas en otros sectores de la construcción o industria. Los ejemplos no limitativos de materiales con los que puede fabricarse las piezas son acero, hierro, compuestos o cualquiera de sus aleaciones o mezclas. La instalación está especialmente diseñada para desbastar o eliminar rebabas de piezas grandes (mínimo de aproximadamente 100 Kg y un máximo que puede superar sin problemas las 50-60 toneladas), pero como se ha dicho, está perfectamente preparada para desbastar correctamente piezas de menor tamaño o peso (por ejemplo de 30 a 100 Kg), pero su valor añadido se potencia en piezas de más de 100Kg, ya que para piezas menores, existen otras soluciones que funcionan satisfactoriamente.

Como se explica más adelante, el robot 10 (y la instalación o célula) se diseña para adaptarse a la forma de la pieza 19. El robot 10 es por tanto programable, de forma que puedan programarse las distintas referencias de piezas, que pueden ser muy diferentes entre sí, lo que complica su automatización.

5 El robot 10 está dotado de capacidad para modificar sus trayectorias de forma automática, adaptándose dichas trayectorias a las diferentes posiciones de colocación de la pieza y a las variabilidades propias de las piezas, por ejemplo de fundición o forja (variación en la escala, crecimientos, impurezas en la superficies, variabilidad de cotas debido a colocación inexacta de machos, posición y tamaño de las rebabas, etc.) y asegurar así que el elemento abrasivo 14 siempre ataque a la pieza 19 con el ángulo y presión óptimo definidos para cada punto de la superficie de la pieza 19. Para ello, el robot 10 comprende algoritmos de control adaptativos que optimizan las trayectorias del robot, la presión de la herramienta sobre la superficie de la pieza, la elección de la herramienta a utilizar, etc., para reducir el tiempo de ciclo a máquina con la calidad requerida. Esto se explica más adelante.

15 La capacidad adaptativa que tiene el sistema de rebabado se consigue introduciendo las variables capturadas por los diferentes sensores (del sistema de escaneo 11 y del sistema de control de presión 13) y los diferentes parámetros definidos por el operario en los algoritmos de adaptación de trayectorias que modifican automáticamente las trayectorias teóricas del robot. Más adelante, en relación con la figura 10, se describe el algoritmo que rige las trayectorias del robot de la invención.

20 El sistema de escaneo 11 está diseñado para inspeccionar la forma de la pieza 19 y compararla con su modelo CAD implementado en el software de control. Es necesario por tanto un diseño teórico y unas trayectorias para ir llegando a puntos concretos. Con algoritmos de visión convencionales adaptados, se modela la pieza comparándola con el diseño teórico. El sistema de escaneo 11 debe ser robusto ante atmósferas muy polvorientas y alteraciones de iluminación e inmune a las diferentes tonalidades de la pieza, incluso óxidos. El sistema de escaneo 11 se conecta físicamente al robot 10 para realizar la inspección visual a medida que el robot se mueve según la trayectoria programada. En una posible implementación, el sistema de escaneo 11 se conecta a un conector 28 situado en el sistema de control 13 del útil de esmerilado 40, ilustrado por ejemplo en las figuras 4A y 4B.

30 Preferentemente, como sistema de escaneo 11 se utiliza un sistema de visión artificial de tres dimensiones (3D) 11 que trabaja por triangulación. El sistema de visión artificial de tres dimensiones (3D) 11 comprende una cámara y un software especialmente diseñado para el dispositivo de la invención. El sistema 11 está dotado de un modelo CAD para realizar el montaje de la nube de puntos obtenida en la captación y montarla sobre el modelo para poder medir los excesos o defectos de material. El sistema de emisión de luz de la cámara es preferentemente un láser continuo. Un ejemplo no limitativo de cámara que puede usarse es una cámara SICK modelo Ranger. En uso, el robot ordena hacer un barrido, la cámara recoge la deformación en determinados instantes de tiempo (por ejemplo, pero no limitativamente, cada 1 ms) y saca una imagen 3D de la pieza 19. Se consigue así conocer la forma de la pieza y sus referencias con respecto al robot.

Por tanto, el robot adapta su trayectoria en función de:

- 40
- (1) la trayectoria teórica diseñada y programada;
 - (2) el resultado de la visión 3D, pues esta indica que la posición de la pieza no coincide exactamente con lo teórico; y
 - (3) el resultado del sistema de control 13, como se indica más adelante.

45 El sistema de escaneo 11 inspecciona superficialmente la pieza 19, lee su posición y escanea su morfología. De esta forma es posible saber si hay exceso de material (rebabas) y modificar las trayectorias del TCP (Punto Central de Herramienta) del robot, que es el punto de referencia y preferentemente se sitúa en el extremo del segundo brazo 102 del robot al que se une el útil de esmerilado en el punto de acoplamiento o amarre. Concretamente, el TCP viene dado por defecto y normalmente se sitúa en el centro de la brida del sexto eje del robot (véase la figura 1, eje 6). En esta brida se fija el útil de esmerilado (véase por ejemplo el elemento 24 en la figura 9B). Al enganchar el útil de esmerilado al punto de amarre del robot, el robot lleva el TCP al punto de trabajo. El sistema de escaneo 11 también permite conocer la posición de la pieza 19 en la mesa 16 (o útil de amarre, si lo hubiera) y corregir así las coordenadas de referencia de la pieza respecto del sistema de coordenadas del robot.

55 Como se ha mencionado anteriormente, no es necesario que la pieza 19 esté colocada con mucha precisión sobre la mesa 16. Esto es así por que el sistema de escaneo 11 capta la posición de la pieza 19 e informa al robot, que redefine la posición "0" (referencia). Es muy importante definir correctamente la referencia con el sistema de escaneo 11, pues posteriormente, cuando actúa el sistema de control 13, el elemento abrasivo debe atacar la pieza de forma perpendicular a la zona de contacto (superficie de la pieza 19). Por tanto, las imágenes captadas por el sistema de escaneo 11 permiten indirectamente que el robot sepa dónde hacer contacto entre el elemento abrasivo y la pieza a desbastar.

65 A continuación, en relación por ejemplo con las figuras 4A y 4B, se describe en detalle el útil de esmerilado 40, que comprende un sistema de control o elemento de control 13 de la fuerza de contacto ejercida sobre la pieza 19 y un electromandrino o fresa 12 que a su vez incorpora un elemento abrasivo 14. El elemento abrasivo 14 es el elemento

que, en contacto con la pieza 19, y gracias al movimiento del electromandrino 12, consigue desbastar o eliminar las rebabas de la pieza 19. El elemento abrasivo 14 es preferentemente, pero no limitativamente, un disco de desbaste. Debido a que la pieza 19 se mueve gracias al giro del plato giratorio 16A (sobre la mesa 16), el extremo libre del elemento abrasivo 14 instalado sobre el electromandrino 12 queda en contacto con la superficie de la pieza 19.

5 Como se explica a continuación, el robot está dotado de la capacidad de poder coger el útil de esmerilado con diferentes orientaciones modificando así la morfología del conjunto formado por el robot y el útil acoplado al mismo, pudiendo llegar así a todas las orientaciones que tienen las diferentes superficies que de otra forma no podrían ser rebabadas de forma automatizada.

10 El control de presión del esmerilado se realiza mediante un sistema de control o elemento de control 13 con compensación según el ángulo respecto a la horizontal, para compensar el peso de la herramienta. Por tanto, el sistema de control 13 de la presión ejercida es un sensor activo debido a que la herramienta trabaja con diferentes ángulos respecto al plano horizontal. El control de presión se realiza mediante un compensador o sistema de compensación 21, preferentemente neumático, de un eje. Al sistema de control 13 se le ha dotado de diferentes puntos de acoplamiento para poder compensar en los tres ejes (X,Y,Z). Estos puntos de acoplamiento son preferentemente un conector (preferentemente de tipo macho) 22 que se puede acoplar a conectores (preferentemente de tipo hembra) 25, 26 del electromandrino, y unos puntos de acoplamiento 23, 24 para acoplar el sistema de control al brazo del robot. El sistema de control 13 ejerce siempre la fuerza sobre la pieza 19 para que no se pierda el contacto, pero permite un desplazamiento del compensador o sistema de compensación 21 para adaptarse a las distintas tolerancias de fabricación. Las figuras 4A-4B muestran una posible implementación del sistema de control 13 que comprende un compensador 21, en cuyo extremo libre se incluye un cambiador rápido de herramienta 22 (por ejemplo, un conector tipo macho). El sistema de control 13 tiene además dos puntos de acoplamiento o conectores hembra 23, 24, pudiéndose elegir cuál de los dos se acopla a la brida del robot. El conector 24 solo se aprecia en la vista de la figura 4B.

25 En una posible realización se utiliza un compensador 21 convencional. Un compensador 21 convencional disponible en el mercado es capaz de proporcionar una compensación de 40 mm (± 20 mm). El compensador 21 comprende una regla o elemento de medida que indica dónde está el carro del compensador 21 y envía una señal analógica al robot para indicarle la posición del carro. Con esa medida, se corrige el TCP.

30 Debido al gran tamaño y peso de la pieza 19 y a que esta presenta curvas (al menos una), es muy complicado llegar con el elemento abrasivo 14 a todas las partes de la pieza 19. Por ello, es necesario poder llegar a la pieza 19 con todas sus superficies libres, que normalmente son una primera superficie abrasiva y una segunda superficie abrasiva. Esto se muestra en la figura 5, que esquematiza un electromandrino 12 con un elemento abrasivo 14. En la figura 4A, se observa cómo el elemento abrasivo 14 tienen una primera superficie abrasiva 141 y una segunda superficie abrasiva 142. En esta implementación, la primera superficie abrasiva es plana, pero no tiene por qué serlo. La segunda superficie abrasiva 142 es el borde del elemento abrasivo 14. Para conseguir esta versatilidad del elemento abrasivo 14, el sistema de control 13 puede amarrarse en dos posibles posiciones (perpendiculares entre sí) (conectores 23, 24) sobre la brida o punto de amarre del robot para atacar distintas superficies de la pieza. Además, como el electromandrino 12 también tiene dos posiciones de amarre perpendiculares entre sí (conectores 25, 26) para poder acoplarse al cambiador rápido de herramienta o conector 22 del sistema de control 13, en definitiva el conjunto permite cuatro posibles configuraciones del útil 40, para poder así llegar a cualquier superficie de la pieza 19. El sistema de control 13 tiene, a través del carro del compensador 21, la posibilidad de un determinado desplazamiento del electromandrino 12. El robot 10 trabaja en la posición central (0) del carro del compensador 21, de forma que el elemento abrasivo 14, gracias al desplazamiento permitido por el compensador 21 del sistema de control 13, tiene más capacidad de recorrido. En una posible realización, el compensador 21 está basado en un dispositivo convencional, cuyo desplazamiento está diseñado para ser de más/menos 20 mm. Las realizaciones alternativas permiten utilizar desplazamientos diferentes.

50 Las figuras 6A-B a 9A-B muestran las cuatro posibles configuraciones del útil de esmerilado 40 en el robot:

55 en la primera configuración (figuras 6A-6B), el sistema de control 13 se conecta a la brida del robot a través del conector 23, quedando el conector 24 libre (no se ve en las vistas de las figuras 6A-6B). Y el electromandrino 12 se conecta al cambiador rápido de herramienta 22 del sistema de control 13 a través del conector 25, quedando libre el conector 26.

60 En la segunda configuración (figuras 7A-7B), el sistema de control 13 se conecta a la brida del robot a través del mismo conector 23, quedando el conector 24 libre (no se ve en las vistas de las figuras 6A-6B). Sin embargo, el electromandrino 12 se conecta al cambiador rápido de herramienta 22 del sistema de control 13 a través del conector 26, quedando libre el conector 25.

65 En la tercera configuración (figuras 8A-8B), el sistema de control 13 se conecta a la brida del robot a través del otro conector (conector 24), quedando el conector 23 libre (solo se ve en la vista de la figura 8B). Y el electromandrino 12 se conecta al cambiador rápido de herramienta 22 del sistema de control 13 a través del conector 25, quedando libre el conector 26 (no se ve en las vistas de las figuras 8A-8B).

Por último, en la cuarta configuración (figuras 9A-9B), el sistema de control 13 se conecta a la brida del robot a través del mismo conector 24, quedando el conector 23 libre. Sin embargo, el electromandrino 12 se conecta al cambiador rápido de herramienta 22 del sistema de control 13 a través del conector 26 (que no se ve en las vistas de las figuras 9A-9B), quedando libre el conector 25.

5 Con estas cuatro configuraciones que se consiguen combinando los dos puntos de acoplamiento al robot (conectores 23, 24) del sistema de control 13 y los dos puntos de acoplamiento (conectores 25, 26) del electromandrino 12 al cambiador rápido de herramienta 22 del sistema de control 13, quedan controlados al menos la presión entre el elemento abrasivo 14 y la superficie a desbastar, y la velocidad de giro del elemento abrasivo.
 10 Con estos parámetros más la velocidad de traslación del robot, se realizan los algoritmos de control para optimizar el tiempo de ciclo de rebabado. Es decir, con la velocidad de giro del elemento abrasivo, la presión y la velocidad de avance del robot, se controla la cantidad de material que se elimina de la pieza 19.

15 En suma, el útil de rebabado es interactivo y está capacitado para ejercer sobre la superficie que se va a desbastar la presión requerida por el sistema de control 13. Para ello, el útil de rebabado tiene un control a lazo cerrado de la presión a la que trabaja y está dotado de medios para saber a qué inclinación sobre la horizontal está trabajando.

Por otra parte, es preciso controlar el desgaste del elemento abrasivo 14, tanto en su primera superficie abrasiva 141 como en su segunda superficie abrasiva 142. Como se ha indicado anteriormente, el robot trabaja con el TCP.
 20 Este suele hacerse corresponder con el extremo del elemento abrasivo que debe estar en contacto con la superficie de la pieza a tratar. A medida que se va desgastando el elemento abrasivo (por el roce continuado con la pieza 19), hay que corregir el TCP. Principalmente, el desgaste hace que disminuya el diámetro del elemento abrasivo (diámetro en el caso de que sea un disco o un anillo) y su altura, que es la dimensión que varía con el desgaste cuando se trabaja con la superficie 141. La altura es importante para la compensación.

25 La programación de las trayectorias del robot se realiza sin conexión mediante software, preferentemente CAD/CAM. El software le envía al robot, preferentemente en lenguaje a máquina, las coordenadas de los puntos que necesita para realizar esa trayectoria. Con este método se simplifica la programación de las superficies curvas. Mediante el software CAD/CAM, ya se tienen las trayectorias teóricas que debería realizar el robot para el
 30 esmerilado final de la pieza. En la práctica no es así, ya que interfieren un número elevado de variables que alteran la trayectoria correcta. Algunas de estas variables son:

- La pieza bruta (pieza real a desbastar) siempre es diferente de la pieza teórica almacenada. Mediante la inspección de la pieza y su comparación con el módulo de CAD se obtiene dónde hay exceso de material (rebabas) y se puede así modificar las trayectorias. Por esto, el nuevo punto tiene otras coordenadas diferentes.
- La base donde se referencian todos los puntos siempre cambia ya que siempre hay una variación a la hora de colocar la pieza en su posición, por lo que hay que corregir la base. Nótese que gracias a esa posible corrección de la base, junto con la facilidad del robot para llegar a cualquier punto de la pieza, se consigue no necesitar colocar con precisión la pieza 19 sobre la mesa 16. Colocar con extremada precisión una pieza de gran tamaño encarecería enormemente el desbastado automático.
- El diámetro del elemento abrasivo, preferentemente un disco, va reduciéndose por lo que la herramienta a la que los puntos de la trayectoria están referidos también está variando continuamente.

Por lo tanto, el punto teórico programado a la hora de la programación de las trayectorias y que tiene la forma
 45 $PO(x,y,z,a,b,c),base,tool$ se convierte en una variable que se actualiza a tiempo real con formato $PO'(x',y',z',a',b',c'),base',tool' = (x0+inc,y0+inc,z0+inc,a0+inc,b0+inc,c0+inc),base+inc,tool+inc$, donde "x y z", indican las coordenadas del punto PO y "a b c" indican la orientación del sistema de referencia, siendo a la rotación de x, b la rotación de y, y c la rotación de z. Base es el sistema de coordenadas al que está referido cada punto y tool es el TCP con el cual el robot va a ese punto.

50 Por último, el dispositivo comprende también una interfaz de programación de los movimientos del robot dinámica y ágil para técnicos de perfil industrial. Esta interfaz hombre-máquina HMI (*human machine interface*) o interfaz de operario debe ser muy intuitiva a pesar de la complejidad de la automatización del sistema de desbastado. Para ello, se usan interfaces gráficas y se minimiza el número de variables que dependen del operador. En concreto, se usa
 55 un ordenador personal PC y una pantalla táctil industrial, en la que se ha instalado un sistema de control (por ejemplo, un Sistema Scada) incorporando módulos específicos programados. Con esta HMI se agrupan todos los parámetros de todos los sistemas bajo una única HMI, haciendo posible el manejo de la célula o instalación por un operario formado adecuadamente.

60 La figura 11 muestra un esquema de las comunicaciones entre los diferentes elementos de la instalación. La inteligencia o control de todos los elementos reside en un maestro 60. En una realización preferente, este elemento de control es un PLC. Desde el PLC se establece comunicación:

- con una base de datos 61 (por ejemplo, un ordenador personal) mediante preferentemente Ethernet 71;
- 65 - con la interfaz hombre máquina (HMI) 62, mediante preferentemente Ethernet 72;
- con el sistema de visión 63, mediante preferentemente Ethernet 73;

- con el robot 10, mediante preferentemente Ethernet 75; y
- con un sistema de control remoto (oficina exterior) 64, mediante preferentemente Internet 74.

5 En el PLC se han implementado la mayoría de los algoritmos de control que están realizados con el estándar de programación IEC61131-3. El resto de algoritmos de control están implementados en el propio robot, para los que se ha utilizado el lenguaje de programación KRL.

10 A continuación, se describe el método de ajuste adaptativo de las trayectorias del robot de la invención. Un diagrama de bloques del algoritmo se ilustra en la figura 10.

15 El método comienza con la selección (etapa 701) de la pieza que se desee desbastar. El método parte por tanto de unos modelos teóricos que han sido obtenidos previamente de la o las piezas que haya que pulir. A continuación, se carga el programa de la pieza seleccionada (etapa 702). Antes o después, la pieza a desbastar 19 se coloca en el plato giratorio 16A de la mesa 16 y opcionalmente se amarra. El robot ordena entonces el escaneado tridimensional de la pieza (etapa 703), que se realiza con el sistema de escaneo 11.

20 Tras este escaneado (condición 704), si la posición real de la pieza es la misma que la posición con la que se han programado las trayectorias teóricas sin conexión (es decir, si la pieza está colocada con total precisión y perfectamente referenciada), entonces se produce la carga (etapa 706) del programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a rebarbar. Por el contrario, si la posición real de la pieza no es la misma que la posición con la que se han programado las trayectorias teóricas sin conexión, entonces (etapa 705) se produce la modificación del sistema de coordenadas que se ha considerado como referencia en la programación sin conexión de las trayectorias teóricas según la desviación obtenida con el escaneado 3D. Una vez hecha esta modificación de las coordenadas, se procede a la carga (etapa 706) del programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a rebarbar.

25 Tras la carga del programa de trayectorias teóricas para la zona de la pieza a rebarbar, se procede a comprobar (etapa 707) la configuración del útil de rebabado que tiene el robot (una de las cuatro configuraciones de las figuras 4A a 4D). Tras este chequeo (condición 708), si la configuración del útil de rebabado permite llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, entonces se comprueba (etapa 710) la herramienta (elemento abrasivo) instalada en el útil de rebabado. Concretamente, se comprueba el tipo de elemento abrasivo y su estado de desgaste. Por el contrario, si la configuración del útil de rebabado no permite llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, entonces se cambia (etapa 709) la configuración del útil de rebabado.

30 Una vez elegida una configuración del útil de rebabado que consigue llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, se comprueba (etapa 710) la herramienta (elemento abrasivo) instalada en el útil de rebabado (tipo de elemento abrasivo y su estado de desgaste). Tras este chequeo, si (condición 711) la herramienta (elemento abrasivo) es la adecuada para rebabar la zona seleccionada, entonces se compara (etapa 713) la nube de puntos obtenida con el escaneo 3D con la superficie del modelo CAD. Por el contrario, si la herramienta (elemento abrasivo) no es la adecuada para rebabar la zona seleccionada, entonces (etapa 712) se cambia la herramienta de rebabado.

35 Una vez elegida una herramienta (elemento abrasivo) adecuada para rebabar la zona seleccionada, se procede a comparar (etapa 713) la nube de puntos obtenida con el escaneo 3D con la superficie del modelo CAD.

40 Entonces, si la desviación (condición 714) en la comparación está dentro de la tolerancia fijada o admitida para esa zona, se ejecuta (etapa 717) el programa de rebabado de la zona seleccionada. Si, por el contrario, la desviación (condición 714) en la comparación no está dentro de la tolerancia fijada para esa zona, se produce (etapa 715) un post-procesado del programa de rebabado de la zona, añadiendo a cada punto de la trayectoria las variables de velocidad del robot, velocidad de rotación de la herramienta y de la presión ejercida sobre la pieza. A continuación se carga (etapa 716) el programa modificado, tras lo cual se procede a ejecutar (etapa 717) el programa de rebabado de la zona seleccionada.

45 Una vez rebabada la zona seleccionada, se comprueba (condición 718) si en el programa de rebabado de la pieza existe alguna otra zona a rebabar. En caso de que no lo haya (etapa 719), se pone fin al ciclo de rebabado. En caso de que sí exista alguna otra zona a rebabar, se vuelve a la etapa 704 para comprobar si la posición real de la pieza es la misma que la posición con la que se han programado las trayectorias teóricas sin conexión. Sigue así ejecutándose el programa hasta que se compruebe (condición 718) que en el programa de rebabado de la pieza no existe alguna otra zona a rebabar. En este momento se pone fin a la ejecución del programa.

50 En este texto, la palabra "comprende" y sus variantes (como "comprendiendo", etc.) no deben interpretarse de forma excluyente, es decir, no excluyen la posibilidad de que lo descrito incluya otros elementos, etapas etc.

55 Por otra parte, la invención no está limitada a las realizaciones concretas que se han descrito, sino que abarca también, por ejemplo, las variantes que pueden ser realizadas por el experto medio en la materia (por ejemplo, en cuanto a la elección de materiales, dimensiones, componentes, configuración, etc.), dentro de lo que se desprende de las reivindicaciones.

60

65

REIVINDICACIONES

1. Una célula robotizada para eliminar rebabas o excesos de material en piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva, que comprende una base (17) y un robot (10) de al menos 6 ejes de libertad,
 5 en la que el robot (10) comprende medios de conexión para, en funcionamiento, llevar instalados un útil de esmerilado (40) y un sistema de escaneo (11),
 y en la que dicho útil de esmerilado (40) comprende a su vez un sistema de control (13) configurado para controlar la fuerza de contacto ejercida sobre la pieza a rebabar (19) y un electromandrino (12) configurado para incorporar y, en uso, hacer girar un elemento abrasivo (14),
 10 de forma que el robot (10) está configurado para, en funcionamiento y con respecto a una trayectoria teórica previamente programada, poder adaptar su trayectoria a partir de la información obtenida mediante dicho sistema de escaneo (11) y mediante dicho sistema de control (13), de forma que el elemento abrasivo (14) ataque a la pieza (19) con el ángulo y la presión óptimos predefinidos para cada punto de la superficie de la pieza (19),
 estando la célula robotizada **caracterizada por que** dicho sistema de escaneo (11) está configurado para
 15 inspeccionar la forma de la pieza a rebabar (19) y capturar su posición, y **por que** el robot (10) de la célula robotizada está configurado para sujetar el útil de esmerilado (40) con cuatro orientaciones diferentes alternativas:
 en una primera configuración, el sistema de control (13) está conectado a la brida del robot (10) a través de un primer conector (23) y el electromandrino (12) está conectado al cambiador rápido de herramienta (22) del sistema de control (13) a través de un primer conector (25); en una segunda configuración, el sistema de control (13) está
 20 conectado a la brida del robot (10) a través de dicho primer conector (23) y el electromandrino (12) está conectado al cambiador rápido de herramienta (22) del sistema de control (13) a través de un segundo conector (26), quedando el electromandrino (12) situado de forma perpendicular con respecto a su posición en la primera configuración; en una tercera configuración, el sistema de control (13) está conectado a la brida del robot (10) a través de un segundo conector (24) y el electromandrino (12) está conectado al cambiador rápido de herramienta (22) del sistema de control (13) a través de dicho primer conector (25); y en una cuarta configuración, el sistema de control (13) está
 25 conectado a la brida del robot (10) a través de dicho segundo conector (24) y el electromandrino (12) está conectado al cambiador rápido de herramienta (22) del sistema de control (13) a través de dicho segundo conector (26), quedando el sistema de control (13) en las tercera y cuarta configuraciones situado de forma perpendicular con respecto a su posición en las primera y segunda configuraciones.
 30
2. La célula robotizada de la reivindicación 1, en la que dicho sistema de escaneo (11) es un sistema de visión artificial de tres dimensiones que comprende una cámara y un software, estando el sistema de visión artificial configurado para trabajar por triangulación.
- 35 3. La célula robotizada de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho sistema de control (13) está configurado para ejercer mediante un compensador (21) un movimiento de compensación en la dirección normal a la pieza a rebabar (19).
4. Una instalación para eliminar rebabas de piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva, que
 40 comprende la célula robotizada de cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que dicho robot (10) está situado sobre un soporte (27), en donde la instalación comprende además una mesa (16) que lleva colocado un plato giratorio (16A) configurado para recibir a la pieza a rebabar (19).
5. La instalación de la reivindicación 4, en la que dichos soporte (27) y mesa (16) son fijos y dicho plato giratorio (16A) es giratorio.
 45
6. La instalación de cualquiera de las reivindicaciones 4 o 5, en la que dicho plato giratorio (16A) comprende medios de amarre (18) para amarrar la pieza a rebabar (19).
- 50 7. La instalación de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 6, en la que dicho soporte (27) sobre el que está situado el robot (10) está situado sobre una vía desplazable (20).
8. La instalación de cualquiera de las reivindicaciones 4 a 7, configurada para desbastar piezas de fundición o de forja de más de 100 kg de peso.
 55
9. Un método para controlar la trayectoria de un robot para eliminar rebabas o excesos de material en piezas de gran tamaño con al menos una superficie curva, que comprende las etapas de:
 60 -seleccionar (701) una pieza a rebabar;
 -cargar (702) un programa que comprende un modelo teórico de dicha pieza seleccionada;
- caracterizado por las etapas de:**
- 65 -escanear (703) tridimensionalmente la pieza y obtener la posición real de la pieza;
 -si (704) la posición real de la pieza es la misma que la posición con la que se han programado previamente unas trayectorias teóricas, cargar (706) un programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a rebabar; en caso

- contrario, modificar (705) el sistema de coordenadas que se ha considerado como referencia en la programación previa de las trayectorias teóricas según la desviación obtenida con el escaneado, y a continuación cargar (706) un programa de trayectorias teóricas de la zona de la pieza a rebabar;
- 5 - comprobar (707) la configuración del útil de rebabado que tiene el robot;
- si (708) la configuración del útil de rebabado permite llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, comprobar (710) el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado; en caso contrario, cambiar (709) la configuración del útil de rebabado y una vez elegida una configuración del útil de rebabado que consigue llegar a todos los puntos de la superficie a rebabar, comprobar el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado;
- 10 -si (711) el elemento abrasivo es el adecuado para desbastar la zona seleccionada, comparar (713) la nube de puntos obtenida por el escaneo con la superficie del modelo teórico; en caso contrario, cambiar (712) el elemento abrasivo y una vez elegido el adecuado, comparar (713) la nube de puntos obtenida por el escaneo con la superficie del modelo teórico;
- si la desviación (714) en la comparación está dentro de un umbral de tolerancia prefijado, ejecutar (717) el programa de rebabado de la zona seleccionada; en caso contrario, post-procesar el programa de rebabado de la zona, cargar (716) el programa modificado y ejecutar (717) el programa de rebabado de la zona seleccionada.
- 15
10. El método de la reivindicación 9, en el que dicha etapa de comprobar (710) el elemento abrasivo instalado en el útil de rebabado implica comprobar el tipo de elemento abrasivo y su estado de desgaste.
- 20
11. El método de cualquiera de las reivindicaciones 9 o 10, en el que dicha etapa de post-procesar el programa de rebabado comprende añadir a cada punto de la trayectoria las variables de velocidad del robot, velocidad de rotación del útil de rebabado y presión ejercida sobre la pieza.
- 25
12. Programa informático que comprende instrucciones de código para que el programa de ordenador realice el método de cualquiera de las reivindicaciones 9 a 11.

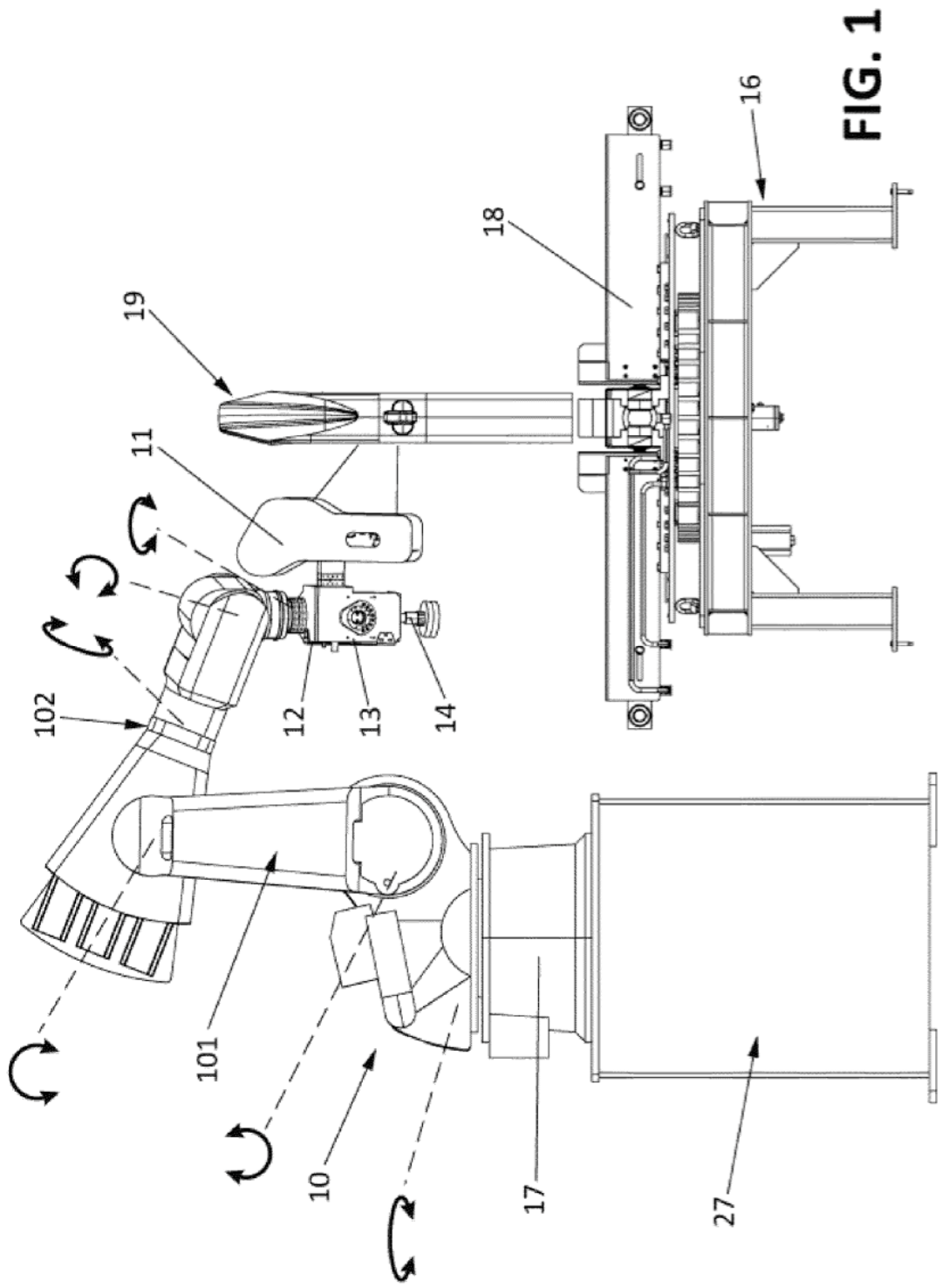


FIG. 1

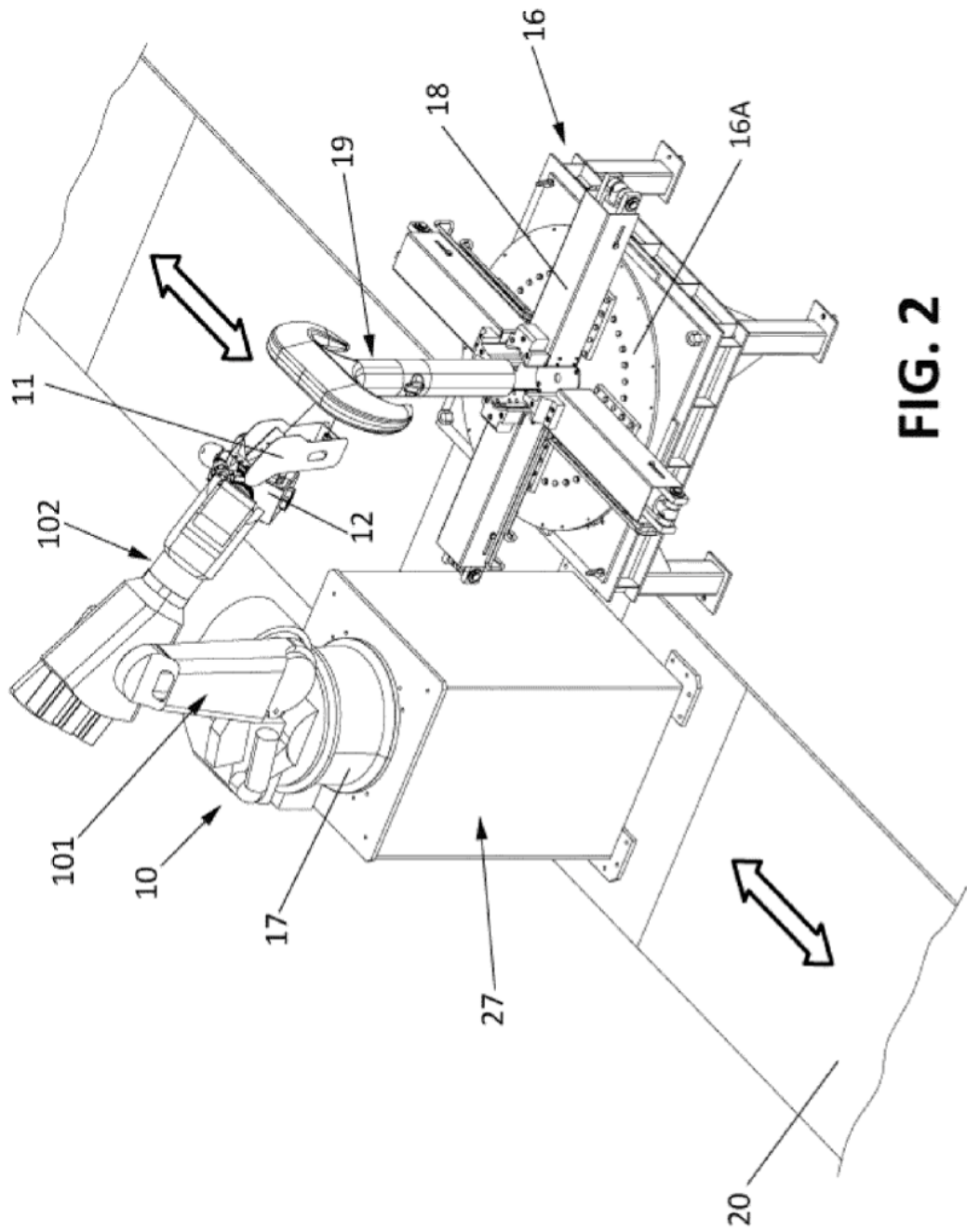


FIG. 2

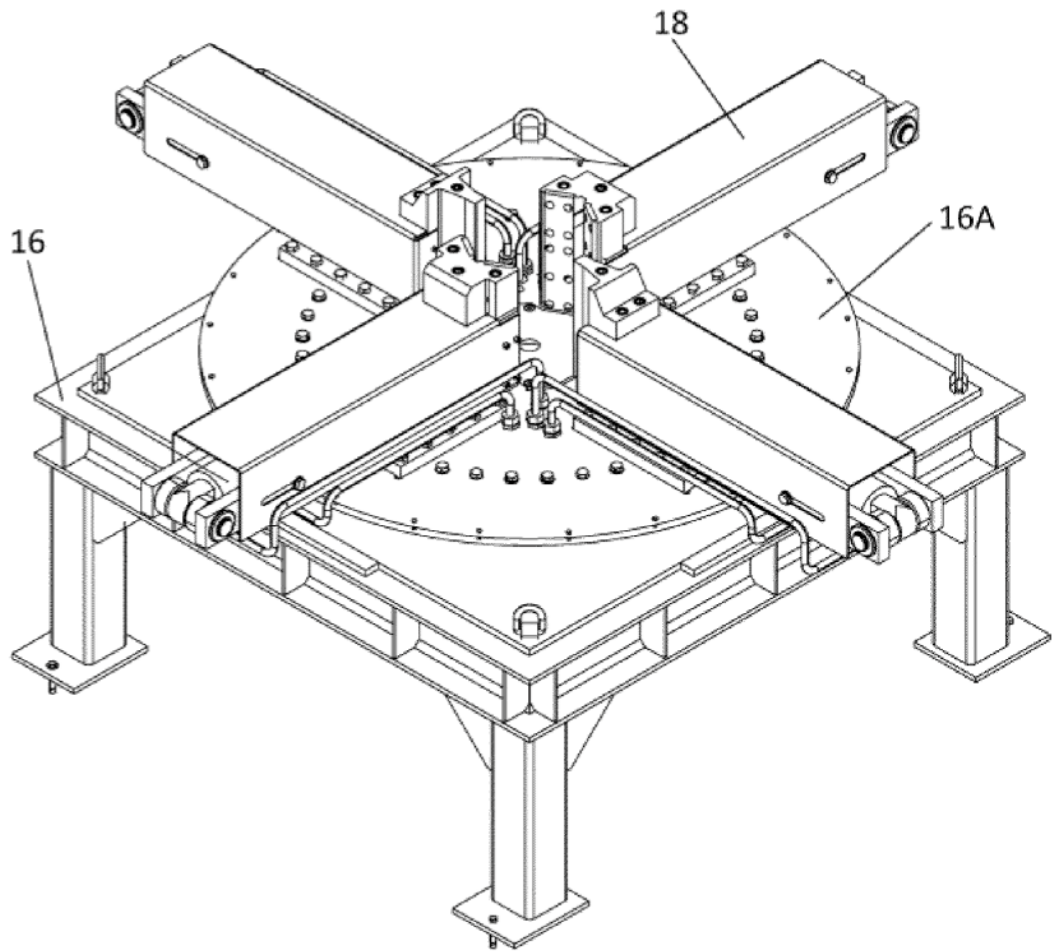


FIG. 3

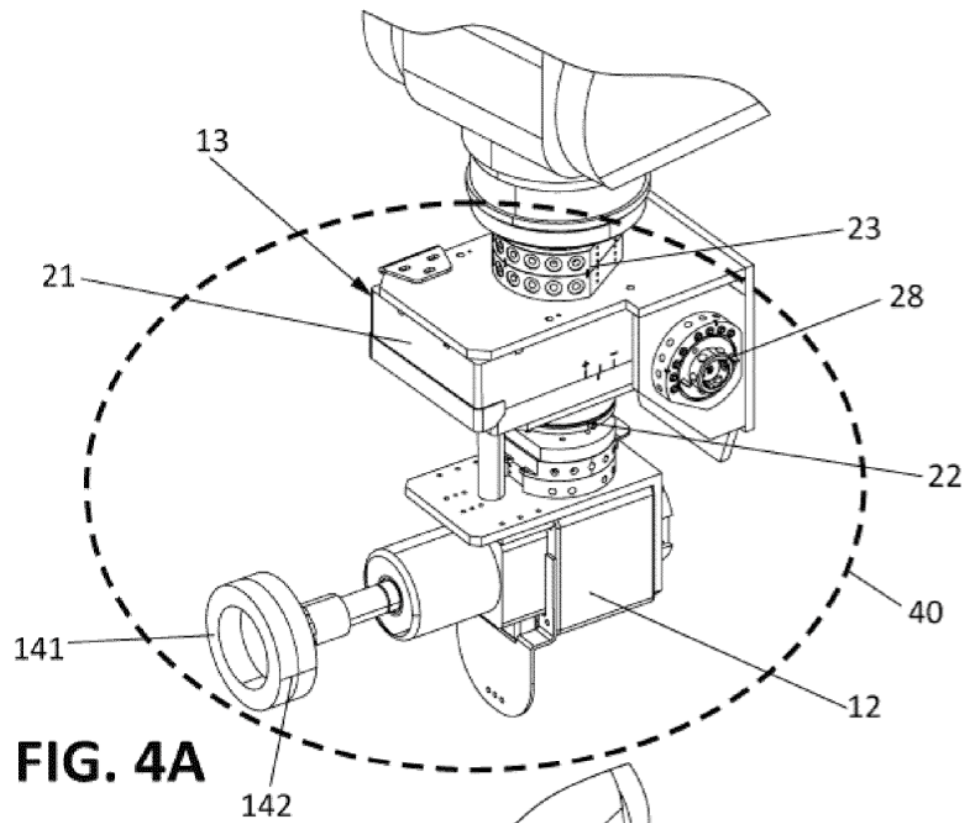


FIG. 4A

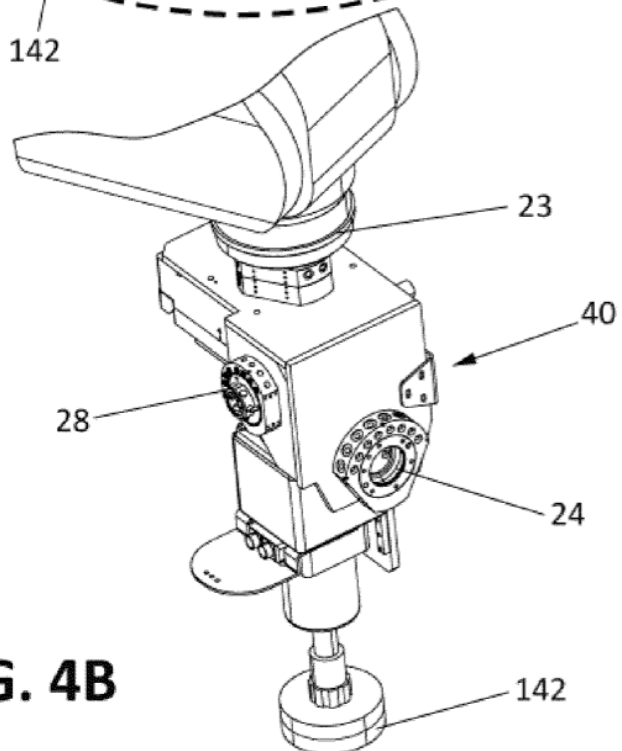


FIG. 4B

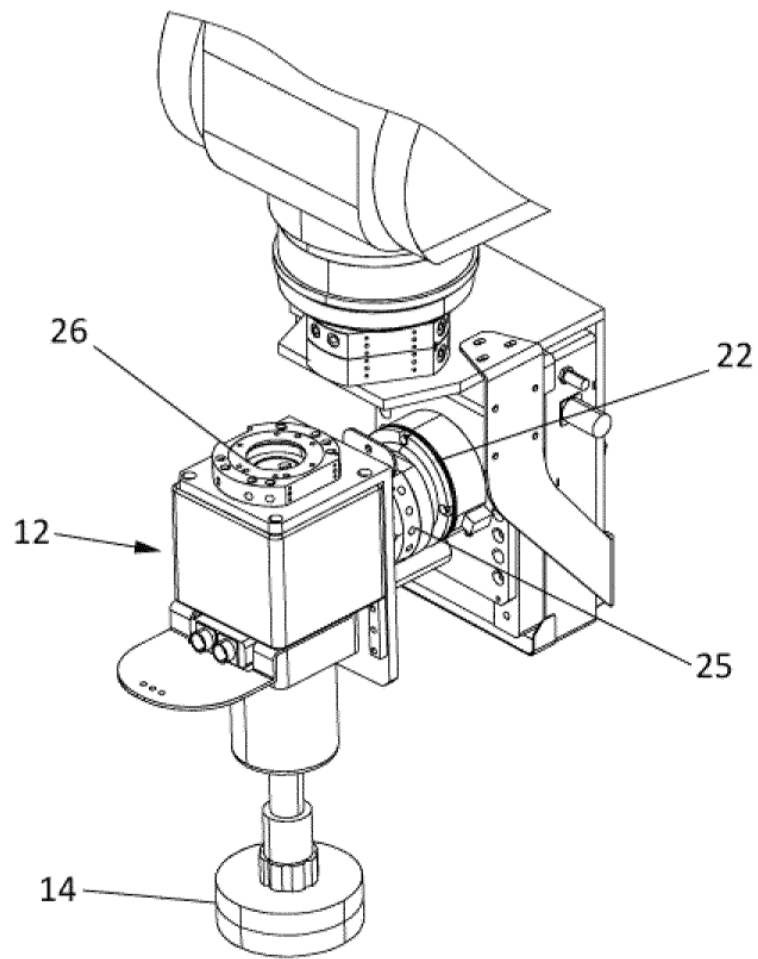
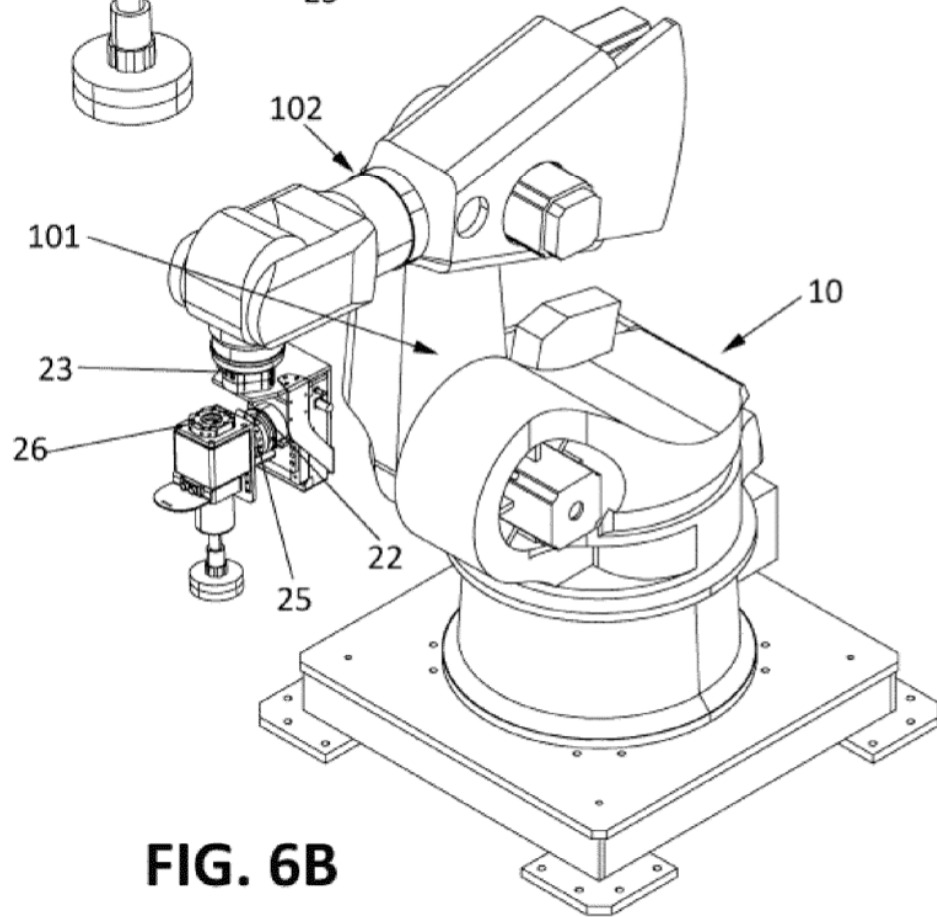
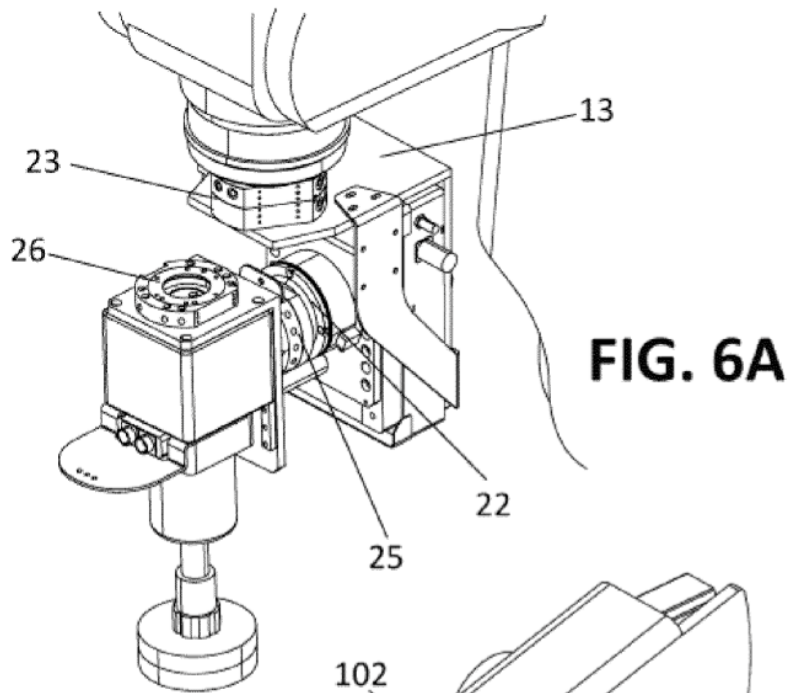


FIG. 5



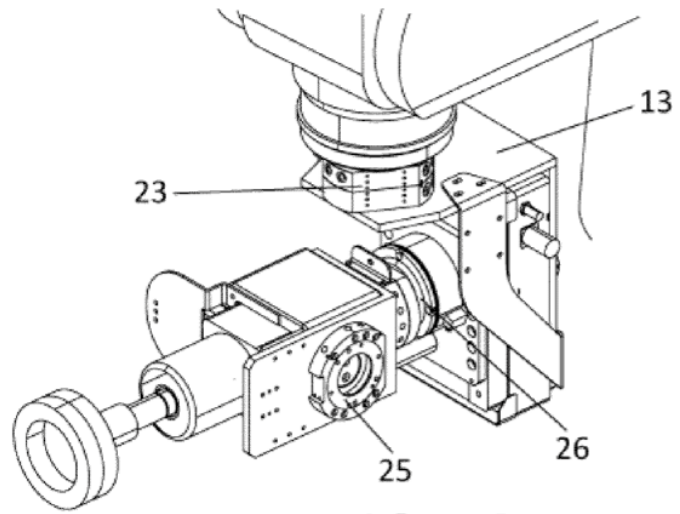


FIG. 7A

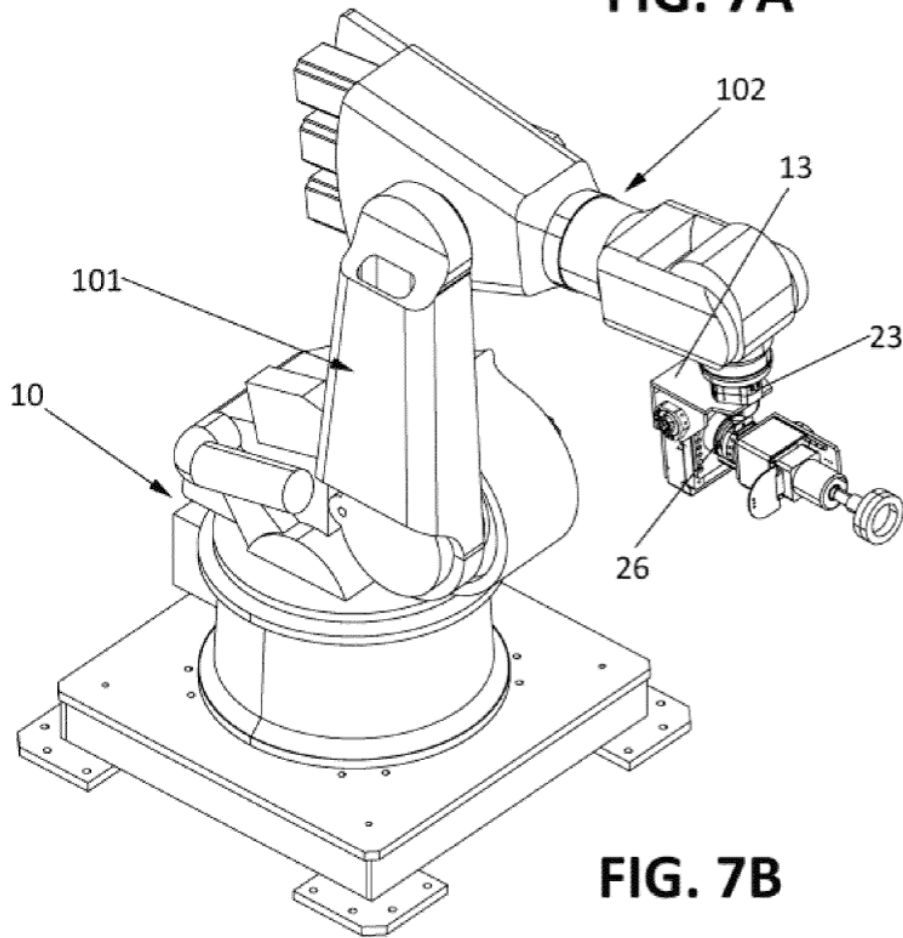


FIG. 7B

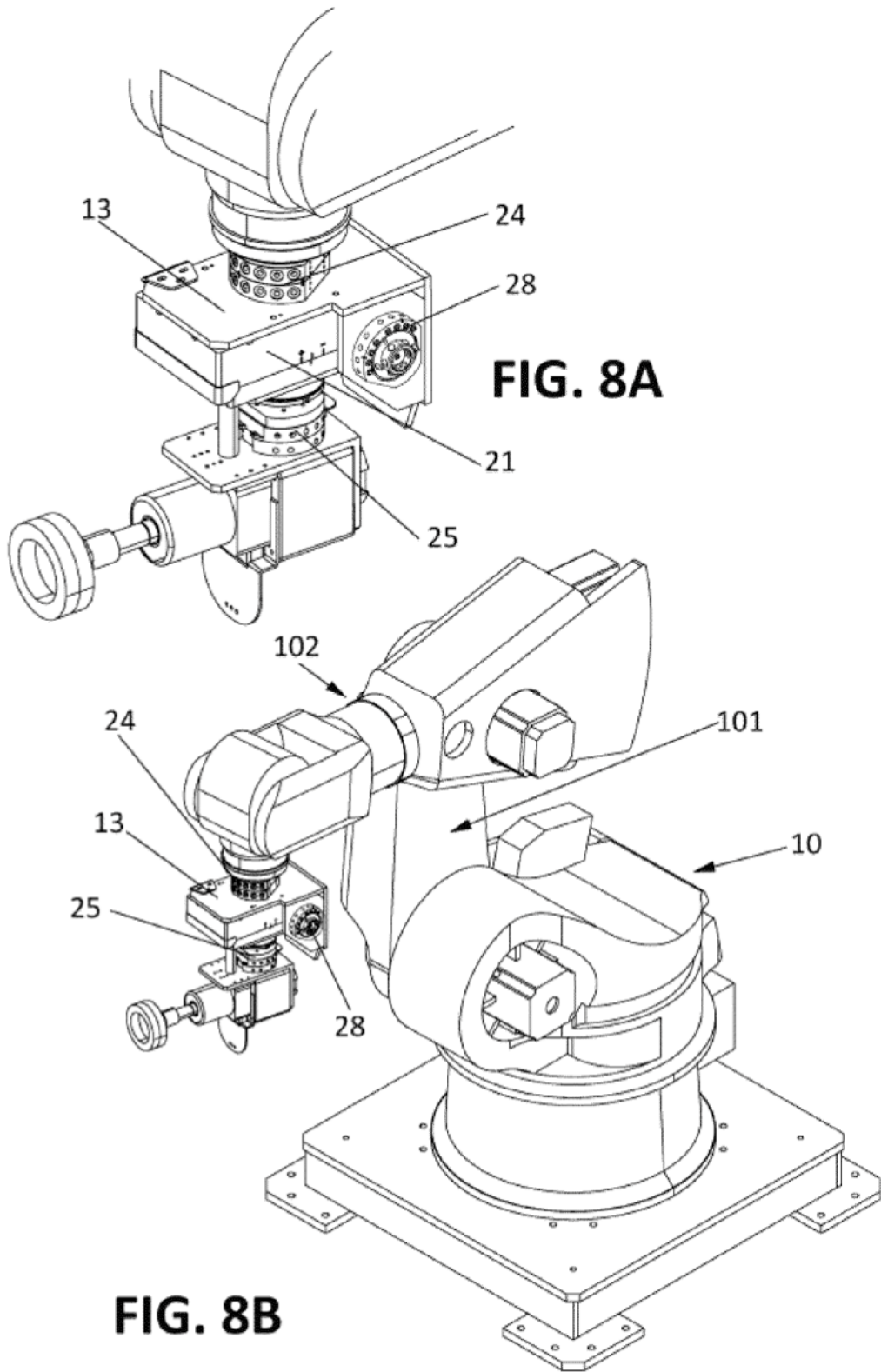


FIG. 8A

FIG. 8B

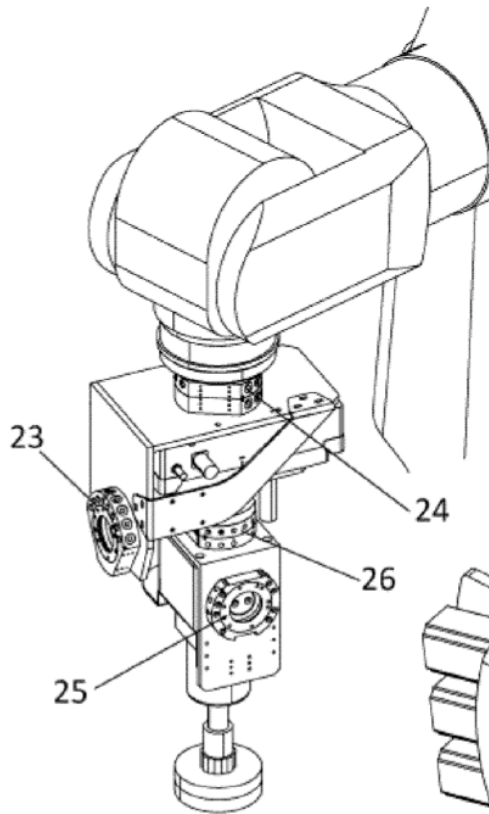


FIG. 9A

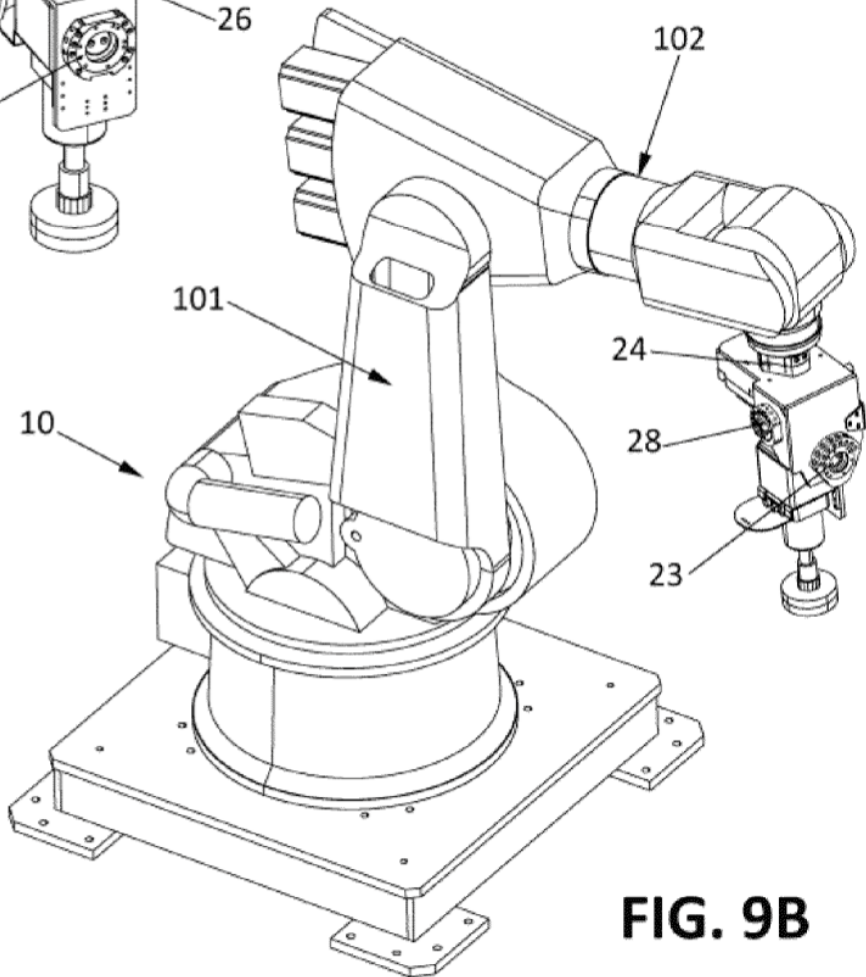


FIG. 9B

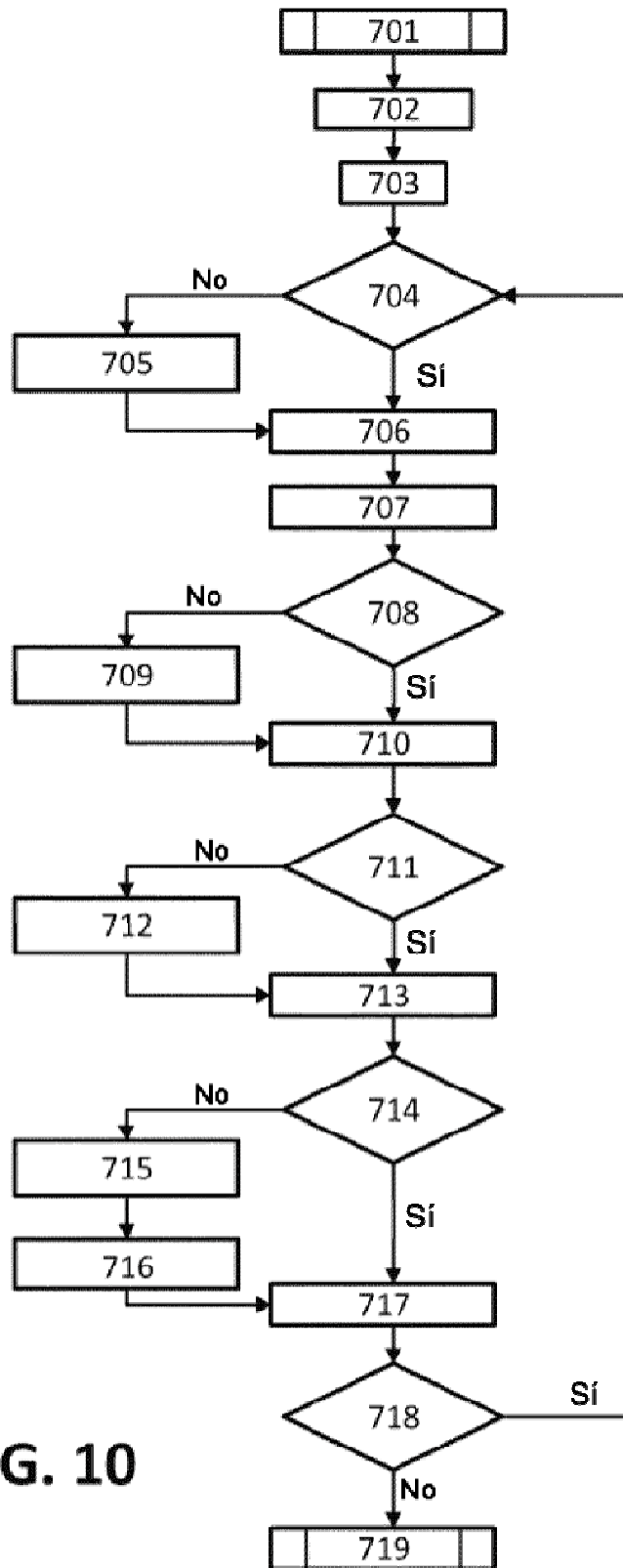


FIG. 10

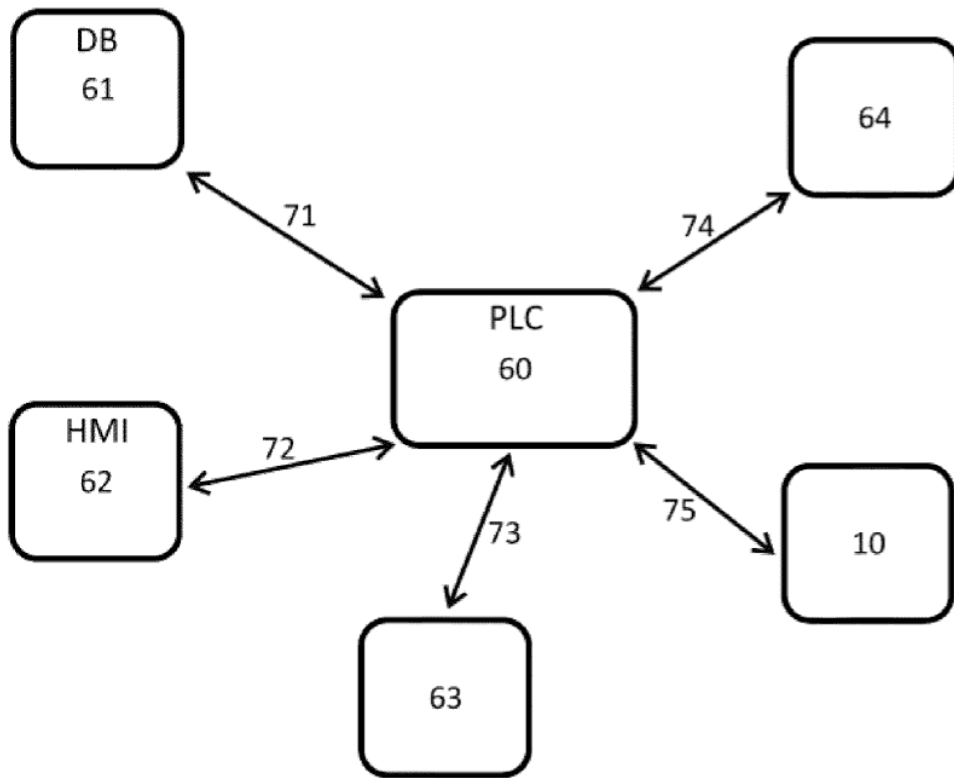


FIG. 11