

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 833 129**

51 Int. Cl.:

B23Q 9/00 (2006.01)

B23Q 17/22 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **14.11.2014** **PCT/EP2014/003058**

87 Fecha y número de publicación internacional: **04.06.2015** **WO15078562**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **14.11.2014** **E 14801932 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **23.09.2020** **EP 3074175**

54 Título: **Máquina herramienta**

30 Prioridad:

26.11.2013 DE 102013224174

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

14.06.2021

73 Titular/es:

**GOTTFRIED WILHELM LEIBNIZ UNIVERSITÄT
HANNOVER (100.0%)
Welfengarten 1
30167 Hannover, DE**

72 Inventor/es:

**BROUWER, DOMINIK;
DENKENA, BEREND y
LITWINSKI, KAI MARTIN**

74 Agente/Representante:

LOZANO GANDIA, José

ES 2 833 129 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

Máquina herramienta

La invención se refiere a una máquina herramienta según el preámbulo de la reivindicación 1. Según un segundo aspecto, la invención se refiere a un procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo.

Las máquinas herramienta se utilizan para el mecanizado, en particular para el mecanizado por eliminación de material, por ejemplo para el mecanizado con arranque de viruta. Para ello, se mueve una herramienta, por ejemplo una herramienta de corte, como una fresadora, un taladro o un cincel de torno, con relación a la pieza de trabajo.

Para mover la herramienta respecto a la pieza de trabajo, se utilizan ejes de máquina, por ejemplo ejes lineales. Cuanto más grande sea la pieza de trabajo, más largo debe ser el eje de la máquina para recorrer la trayectoria objetivo completa que es necesaria para realizar el mecanizado especificado en la pieza de trabajo. Puesto que piezas de trabajo en voladizo tienen que fabricarse con relativa poca frecuencia, su fabricación es muy costosa, porque debe mantenerse disponible una máquina herramienta con un gran espacio de trabajo y que sólo esporádicamente fabrica piezas de trabajo para las que la misma es absolutamente necesaria.

Por los documentos US 2010/0 186 210 A1 y JP S57 33 946 A, se conocen máquinas herramienta que se fijan a una pieza de trabajo para mecanizarla. La posición de la máquina herramienta respecto a la pieza de trabajo se determina, por ejemplo, mediante un sistema de medición de láser. Un inconveniente de tales sistemas es que la máquina herramienta debe adaptarse específicamente a la estructura de la pieza de trabajo. Los componentes esbeltos, como los utilizados por ejemplo en la construcción de aviones, no se pueden mecanizar de esta manera.

Por los documentos EP 1 884 453 A2, FR 2 809 034 A1, DE 10 2011 052 602 A1, EP 1 792 673 A2, US 2003/0120377 y FR 2 917 316 A1 se conocen máquinas herramienta de tipo genérico, en las que se utilizan equipos de avance para posicionar unidades de mecanizado respecto a la pieza de trabajo. Un inconveniente de estas soluciones es el diseño relativamente costoso de los equipos de avance.

El documento US 5 468 099 describe un robot de perforación, que se mueve a lo largo de una línea de separación de dos componentes de un avión y perfora agujeros para remaches. Para mover el robot de perforación existen dos juegos de ventosas, que pueden moverse relativamente entre sí.

La invención tiene como objetivo básico mejorar la fabricación de piezas grandes y esbeltas.

La invención resuelve el problema mediante una máquina herramienta con las características de la reivindicación 1.

Según un segundo aspecto, la invención resuelve el problema mediante un procedimiento según la reivindicación 7.

Es una ventaja de la invención que se pueden mecanizar piezas de trabajo grandes, por ejemplo con arranque de viruta, en al menos una dirección espacial, sin la necesidad de ejes de máquina largos para ello. Es posible mover el bastidor de la máquina sucesivamente respecto a la pieza de trabajo y mecanizar en cada momento aquellas secciones de la pieza de trabajo que se encuentran en el espacio de trabajo. Se entiende por espacio de trabajo el conjunto de todos los puntos que se pueden mecanizar controlando los ejes de la máquina con el bastidor de la máquina fijado.

Otra ventaja es que se pueden mecanizar piezas de trabajo que tienen un rebaje de más de 2 m, en particular de más de 3 m en al menos una dirección espacial, pese a ello con precisión. La precisión del mecanizado depende en gran medida de la precisión con la que se pueda medir el bastidor de la máquina respecto al dispositivo de medición. Los interferómetros de láser modernos pueden medir también la posición absoluta dentro del marco metrológico con rapidez y con alta precisión. Por lo tanto, es posible determinar la posición del bastidor de la máquina respecto al dispositivo de medición con una precisión de medición en el rango micrométrico o incluso submicrométrico. Esta precisión de medición es tan alta que resulta posible mecanizar la pieza por secciones con gran precisión, incluso si se mueve varias veces el bastidor de la máquina.

Según una forma de realización preferida, el dispositivo de medición incluye al menos tres, en particular cuatro interferómetros de láser de seguimiento, mediante los cuales se pueden determinar cambios en la posición de la herramienta. Es especialmente favorable que al menos uno de los interferómetros de láser, en particular todos los interferómetros láser, hagan mediciones absolutas.

Es especialmente ventajoso que en principio el tamaño de los componentes sólo esté limitado por el alcance del sistema de medición. Por ejemplo, la máquina herramienta correspondiente a la invención se puede utilizar para mecanizar cascos de barcos, paredes de barcos y otros componentes de barcos. Para ello solo es necesario fijar el dispositivo de medición con suficiente firmeza al componente del barco y prescribir la trayectoria objetivo en las coordenadas del marco de medición. De esta manera por ejemplo pueden rebajarse los recubrimientos aplicados en el interior sobre el casco del barco u otras paredes del barco hasta un grosor predeterminado.

También es ventajoso que incluso grandes piezas de trabajo puedan mecanizarse automatizadamente.

En el contexto de la presente descripción, se entiende por portaherramientas en particular un elemento de la máquina herramienta que está diseñado para conectarse con una herramienta, en particular una herramienta de corte. Sin embargo, el portaherramientas también puede tener un receptáculo para un cabezal de láser o presentar un cabezal de láser por sí mismo, de modo que la máquina herramienta también puede mecanizar la pieza de trabajo mediante un rayo láser.

También se entiende por herramienta en particular un equipo para la fabricación aditiva. Por supuesto, el portaherramientas puede estar diseñado para alojar más de una herramienta. También es posible que la máquina herramienta incluya dos o más portaherramientas. Si existen varios portaherramientas, éstos pueden estar unidos mediante los mismos ejes de máquina u otros ejes de máquina para el movimiento.

En particular, la máquina herramienta está diseñada para mecanizar por eliminación, en particular mecanizar con arranque de viruta. Durante el mecanizado por eliminación aparecen regularmente fuerzas de proceso considerables, que deben derivarse. Asimismo se formulan elevadas exigencias a la estabilidad dimensional de la pieza de trabajo que resulta. Por esta razón, en máquinas herramienta conocidas siempre está prevista una conexión muy rígida entre la bancada de la máquina y el husillo. Las conexiones que pueden soltarse se consideraron demasiado débiles para cumplir con los requisitos en cuanto a la precisión.

Se entiende por eje de máquina en particular un componente de la máquina herramienta mediante el cual el portaherramientas puede moverse de forma guiada accionado automáticamente. En particular, los ejes de la máquina son ejes lineales. Es especialmente favorable que la máquina herramienta tenga cinco ejes de mecanizado, de modo que sea una máquina herramienta de cinco ejes. Tales máquinas herramienta permiten la fabricación incluso de piezas de trabajo de estructura compleja.

Se entiende por trayectoria de la herramienta aquella secuencia cronológica de posiciones que debe recorrer el portaherramientas para que la pieza obtenga un contorno objetivo predeterminado. La trayectoria de la herramienta se genera por ejemplo a partir de un sistema CAD o se introduce directamente en el sistema de control de la máquina.

Por dispositivo de fijación se entiende un dispositivo mediante el cual pueden fijarse entre sí el espacio de la máquina y la pieza de trabajo de tal manera que se mantenga una precisión de mecanizado predeterminada. En particular, el dispositivo de fijación puede soltarse, es decir, el bastidor de la máquina se puede mover respecto a la pieza de trabajo cuando se ha soltado el dispositivo de fijación.

El dispositivo de medición es preferiblemente un dispositivo de medición interferométrico. Se prefiere especialmente un dispositivo de medición interferométrico de medición absoluta, como se describe por ejemplo en el documento EP 2 620 742 A1. Con un tal sistema, es posible determinar la posición absoluta dentro del bastidor de la máquina rápidamente y con una precisión muy alta.

El dispositivo de medición está diseñado además tal que igualmente se conoce la posición de la pieza de trabajo en relación con el bastidor de la máquina. Las coordenadas con las que se determina la posición en el marco metrológico se denominan coordenadas del bastidor de la máquina. Por posición de un objeto se entiende el conjunto de posición y orientación de un sistema de coordenadas que está unido al objeto respectivo. Por ejemplo, la posición del bastidor de la máquina en el marco metrológico se caracteriza por tres longitudes y tres ángulos. Cada curva en el sentido matemático que se indica en coordenadas del marco de medición, se puede convertir a continuación de una manera inequívoca en una trayectoria de herramienta en coordenadas de máquina.

Bajo la característica de que el sistema de control de la máquina está diseñado para realizar automáticamente las etapas indicadas, se entiende en particular que significa que el sistema de control de la máquina es capaz de realizar estas etapas autónomamente y sin intervención externa. Para ello, el sistema de control de la máquina incluye por ejemplo una memoria digital, en la que se almacena un programa legible por máquina, que es procesado automáticamente por el sistema de control de la máquina.

En una forma de realización preferida, el dispositivo de medición incluye una bancada de la máquina con una pluralidad de puntos de acoplamiento y el dispositivo de sujeción tiene un dispositivo de fijación, que está fijado al bastidor de la máquina y se puede conectar tal que puede soltarse con el sistema de sujeción de punto cero. El dispositivo de fijación y los puntos de acoplamiento forman parte de un sistema de sujeción

de punto cero, con lo que el bastidor de la máquina puede fijarse a la bancada de la máquina en una pluralidad de posiciones mediante el sistema de sujeción de punto cero. Se entiende por sistema de sujeción de punto cero un equipo en el que dos elementos de sujeción interactúan entre sí de forma plana y en arrastre de forma tal que se puede lograr una gran precisión de posicionamiento. Un sistema de sujeción de punto cero tiene la ventaja de que la posición del bastidor de la máquina puede determinarse con gran precisión a partir del sistema de sujeción de punto cero al que está fijado. En particular, el sistema de sujeción de punto cero está calibrado, es decir, se conoce con una gran precisión la posición de los elementos del sistema de sujeción de punto cero que determinan la precisión de posicionamiento.

Según una forma de realización preferida, el dispositivo de fijación puede incluir al menos un imán, en particular un imán permanente y/o un electroimán. Con un tal dispositivo de fijación, puede fijarse el bastidor de la máquina a un material electromagnético con grandes fuerzas de fijación. Esto es particularmente favorable cuando el componente es una parte de un barco. Por ejemplo, la máquina herramienta correspondiente a la invención se puede utilizar entonces para mecanizar el casco de un barco.

La máquina herramienta incluye preferiblemente un dispositivo de movimiento para mover independientemente el bastidor de la máquina. Por ejemplo, el dispositivo de movimiento tiene una transmisión por cadena y/o patas móviles, por medio de las cuales el dispositivo de movimiento puede llevar a una nueva posición el bastidor de la máquina mediante un movimiento similar al de un insecto.

Según una forma de realización preferida, el sistema de control de la máquina está configurado para llevar a cabo automáticamente un procedimiento con las etapas: (i) después de mecanizar la pieza de trabajo, controlar el dispositivo de movimiento tal que el bastidor de la máquina se mueve respecto al marco de medición, (ii) fijar el bastidor de la máquina respecto al marco de medición, (iii) medir la nueva posición del bastidor de la máquina respecto al marco de medición y (iv) calcular la trayectoria de la herramienta en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de la trayectoria objetivo prescrita en coordenadas del marco de medición.

El marco de medición es un sistema de coordenadas abarcado por el sistema de medición. En particular no es un objeto real. Es ventajoso en una máquina herramienta así configurada que la misma puede mecanizar de forma independiente una pieza de trabajo ya preparada, es decir, una pieza de trabajo cuya posición respecto al marco de medición se conoce, tras prescribirse la trayectoria objetivo, sin la necesidad de por ejemplo una fresadora de pórtico para ello.

La máquina herramienta tiene una herramienta de fijación para fijar el portaherramientas a una pieza de trabajo. Según una forma de realización preferida, la herramienta de fijación tiene un roscado. Entonces es posible cortar por medio de la máquina herramienta, utilizando primeramente una herramienta de corte de roscas, un roscado en la pieza de trabajo, a continuación cambiar la herramienta de fijación en el portaherramientas y atornillarla con su rosca. A continuación se puede soltar el dispositivo de sujeción y reposicionar el bastidor de la máquina moviendo el portaherramientas respecto al bastidor de la máquina por medio de los ejes de la máquina. La ventaja de esto es que el bastidor de la máquina se puede mover respecto a la pieza de trabajo sin accionamientos adicionales.

La herramienta de fijación está diseñada para fijar una parte estática del husillo a la pieza de trabajo. De hecho, también es posible que el eje de rotación del husillo se fije mediante la herramienta de fijación, pero esto puede dar lugar a grandes fuerzas que actúan sobre los cojinetes del eje del husillo. Por lo tanto, es especialmente favorable que no esté conectado el eje del husillo, sino la carcasa del husillo con la pieza de trabajo. La carcasa incluye en particular todas las partes que no se mueven respecto al eje del husillo cuando se mueven todos los ejes de la máquina, pero no el eje del husillo.

Según la invención, el sistema de control de la máquina está configurado para ejecutar automáticamente un procedimiento con las etapas (i) controlar la herramienta de fijación de modo que el portaherramientas se fije al objeto externo, (ii) mover el portaherramientas respecto al objeto, con lo que el bastidor de la máquina se mueve respecto al objeto, y (iii) fijar el bastidor de la máquina respecto al objeto. Cuando según una forma de realización preferida de la invención el objeto externo es la pieza de trabajo, la máquina herramienta puede continuar mecanizando la pieza de trabajo. De esta manera, la máquina herramienta puede sujetarse a lo largo de la pieza de trabajo y mecanizar piezas de trabajo que son significativamente más grandes de lo que realmente permite su zona de mecanizado.

En otras palabras, esta máquina herramienta utiliza sus ejes de máquina para desplazarse respecto al objeto externo. Para mecanizar la pieza de trabajo, el bastidor de la máquina herramienta está fijado respecto al objeto externo y el portaherramientas se mueve respecto al objeto externo para el mecanizado. Para realizar el movimiento, el bastidor de la máquina se mueve respecto al objeto externo y el portaherramientas está fijado respecto al objeto externo.

Esta máquina herramienta incluye preferiblemente (a) un dispositivo de medición, que define un marco metrológico y mediante el cual se puede determinar la posición del bastidor de la máquina respecto al dispositivo de medición, (b) estando configurado el sistema de control de la máquina para realizar

automáticamente un procedimiento con las etapas: (i) medir una posición del bastidor de la máquina respecto al dispositivo de medición, (ii) calcular la trayectoria de la herramienta en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de una trayectoria objetivo predeterminada en coordenadas del marco de medición del dispositivo de medición y (iii) mover la herramienta a lo largo de la trayectoria de la herramienta por medio de los ejes de la máquina para que se pueda mecanizar una pieza. También es favorable que esta máquina herramienta, presente alternativa o adicionalmente una o más de las características antes mencionadas.

Según una forma de realización preferida, la máquina herramienta incluye un equipo para fabricación aditiva, en particular un cabezal de aplicación de láser. Por ejemplo, el portaherramientas incluye el equipo para la fabricación aditiva. En lugar de fabricación aditiva, también se podría hablar de fabricación genérica. Se entiende por equipo para la fabricación aditiva en particular un equipo por medio del cual se puede aplicar material adicional sobre la pieza de trabajo y unirlo permanentemente a ella. La resistencia del material adicional es entonces preferiblemente de al menos el 80% de la resistencia del material de base de la pieza de trabajo. En particular, el material adicional es el mismo que el material de base. En un equipo para la fabricación aditiva es ventajoso que mediante la aplicación sucesiva de material y, dado el caso, posterior mecanizado con arranque de viruta, puede fabricarse o repararse la pieza.

Es especialmente ventajoso un cabezal de aplicación de láser. Bajo ello se entiende un equipo mediante el cual se aplica sobre la pieza de trabajo un material de partículas pequeñas, por ejemplo polvo metálico, en particular polvo de acero, polvo de níquel, polvo de titanio y se une con la pieza de trabajo mediante un rayo láser. Como alternativa o adicionalmente, el equipo para la fabricación aditiva también puede incluir un cabezal de soldadura de recargo, diseñado para soldadura de recargo.

Según un procedimiento preferido, la pieza de trabajo tiene una extensión de al menos tres metros en al menos una dimensión espacial. Para tales piezas de trabajo, se elegía hasta ahora como máquina herramienta una fresadora de pórtico, pero tal como se ha descrito, es compleja y costosa.

Es especialmente favorable que la herramienta sea un mamparo de aeronave o una parte de un barco. Tales componentes suelen ser tan grandes que requieren máquinas herramienta especiales, que son complejas y caras.

Según una forma de realización preferida, la máquina herramienta incluye un dispositivo de detección de la topografía de la superficie para captar una topografía de la superficie de la pieza de trabajo, estando configurado el sistema de control de la máquina para realizar automáticamente un procedimiento con las etapas: (i) captar la topografía de la superficie, (ii) comparar la topografía de la superficie con una topografía objetivo, (iii) generar una trayectoria de la herramienta a partir de una diferencia entre la topografía de la superficie y la topografía objetivo y (iv) mecanizar la pieza de trabajo de acuerdo con la trayectoria de la herramienta. Por ejemplo, el dispositivo de detección de la topografía de la superficie incluye un escáner de láser y/o un dispositivo de proyección de franjas.

Para poder reparar o realizar el acabado de una pieza de trabajo, se debe saber dónde se debe quitar y/o agregar material. Esto se logra mediante las etapas indicadas. La comparación de la topografía de la superficie con una topografía objetivo se puede realizar por ejemplo determinando aquella posición de la topografía de la superficie medida respecto a la topografía objetivo en la que ambas tienen la desviación más pequeña entre sí. Éste es el caso, por ejemplo, cuando la desviación cuadrática media es mínima en el sentido técnico. Mínima en el sentido técnico significa que es posible una desviación respecto a la solución mínima en el sentido matemático.

Es favorable que el procedimiento correspondiente a la invención incluya la etapa de fabricar una pieza en bruto, en particular una pieza en bruto de fundición y de una soldadura de recargo de la pieza en bruto. Así se pueden fabricar piezas grandes de forma eficiente. Mediante una medición en el bastidor de la máquina, se puede mecanizar el contorno exterior de la pieza en bruto con gran precisión con una máquina herramienta cuyo espacio de mecanizado es más pequeño que la pieza en bruto. Las estructuras anteriores no tienen que fabricarse mediante fundición, sino que pueden fabricarse mediante soldadura de recargo, por ejemplo soldadura de recargo por láser. Lo anterior también se aplica a las piezas torneadas.

Es favorable que el procedimiento según la invención incluya las etapas (i) captar la topografía de la superficie, (ii) comparar la topografía de la superficie con una topografía objetivo, (iii) generar una trayectoria de la herramienta a partir de una diferencia entre la topografía de la superficie y la topografía objetivo y (iv) mecanizar la pieza de trabajo según la trayectoria de la herramienta. Las ventajas de este procedimiento se han explicado antes. Es especialmente adecuado para reparar piezas de trabajo de metal y/o plástico reforzado con fibras, por ejemplo piezas de aviones, piezas de instalaciones de energía eólica y/o piezas de vehículos de motor.

Corresponde además a la invención un procedimiento con las siguientes etapas:

(i) mecanizar una pieza de trabajo, (ii) controlar la herramienta de fijación de modo que el portaherramientas se sujete a un objeto externo, en particular la pieza de trabajo, (iii) mover el portaherramientas respecto al bastidor de la máquina de modo que el bastidor de la máquina (24) se mueva respecto al objeto y (iv) fijar el bastidor de la máquina respecto al objeto. A continuación, por ejemplo se sigue mecanizando la pieza de trabajo, en particular mediante arranque de viruta y/o mediante un procedimiento aditivo.

La invención se explica con más detalle a continuación en base a los dibujos adjuntos. Al respecto muestra

la figura 1 una vista esquemática tridimensional de una máquina herramienta correspondiente a la invención,
la figura 2 un detalle de una bancada de la máquina herramienta de la figura 1,
la figura 3 con las imágenes parciales 3a, 3b, 3c y 3d, esquemáticamente la secuencia de un procedimiento según la invención y
la figura 4 la representación de un procedimiento según la invención según una tercera forma de realización.

La figura 1 muestra una máquina herramienta 10 según la invención con un portaherramientas 12, un primer eje de máquina 14, un segundo eje de máquina 16 y un tercer eje de máquina 18. Los ejes de máquina 14, 16, 18 son ejes lineales. La máquina herramienta 10 también incluye dos ejes de rotación, no mostrados, por lo que una herramienta 20, que está fijada al portaherramientas 12, se puede mover en cinco ejes.

La máquina herramienta 10 también incluye un sistema de control de la máquina 22, que está conectado con los ejes de la máquina 14, 16, 18 y otros componentes de la máquina herramienta 10 para el control. Los ejes de la máquina 14, 16, 18 están fijados a un bastidor de la máquina 24, que en el presente caso tiene esencialmente forma cuboide. Pero también es posible elegir cualquier otra forma. El sistema de control 22 de la máquina calcula la posición $L_i = (x_i, y_i, z_i, \alpha_i, \beta_i, \gamma_i)$ en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de las posiciones de los ejes de la máquina. El índice i se refiere a que el sistema de coordenadas de la máquina también puede denominarse sistema de coordenadas interno.

La máquina herramienta 10 también incluye un dispositivo de medición 26 mediante el cual puede determinarse la posición $L_e = (x_e, y_e, z_e, \alpha_e, \beta_e, \gamma_e)$ del bastidor de la máquina 24 en un sistema de coordenadas del marco de medición. El índice e se refiere a que el sistema de coordenadas del marco de medición también puede denominarse sistema de coordenadas externo. El dispositivo de medición 26 comprende una bancada de la máquina 28 y una pluralidad de puntos de acoplamiento 30.1, 30.2, 30..., que en el presente caso están fijados a la bancada de la máquina 28 o bien están constituidos directamente en la misma.

La figura 2 muestra esquemáticamente un detalle de la bancada de la máquina 28 con el punto de acoplamiento 30.1. La máquina herramienta 10 incluye además un dispositivo de sujeción 32, que incluye un dispositivo de fijación 34. El dispositivo de fijación 34 está diseñado para unirlo en arrastre de forma tal que puede soltarse con un punto de acoplamiento, aquí el punto de acoplamiento 30.1. El punto de acoplamiento 30 (los números de referencia sin sufijo numérico se refieren en cada caso a todos los objetos correspondientemente señalados) y el dispositivo de fijación 34 forman en conjunto parte de un sistema de sujeción de punto cero. Mediante este sistema de sujeción de punto cero, puede fijarse el bastidor de la máquina 24 respecto a la bancada de la máquina 28 con un alto grado de reproducibilidad.

La posición de cada punto de acoplamiento 30 respecto a la bancada de la máquina 28 se conoce mediante una medición previa, por ejemplo con un interferómetro de láser, con un alto grado de precisión, con lo que la posición L_{24} del bastidor de la máquina 24 también se conoce con gran precisión cuando el mismo está fijado a la bancada de la máquina mediante el sistema de sujeción de punto cero.

La figura 1 también muestra una pieza de trabajo 36, que está fijada a la bancada de la máquina 28 mediante dispositivos de sujeción 38.1, 38.2, 38.3. Por tanto, también se conoce la posición de la pieza de trabajo 36 en coordenadas del marco de medición.

En el sistema de control de la máquina 22 está almacenada una trayectoria objetivo $Z: L_e(t) = (X_e(t), y_e(t), z_e(t), \alpha_e(t), \beta_e(t), \gamma_e(t))$, que indica en qué posición $L_e(t)$ debe encontrarse la herramienta 20 o el portaherramientas 12 en un instante predeterminado respecto a un tiempo de máquina t . Esta trayectoria objetivo Z está dada en las coordenadas del marco de medición, que se determinan mediante el dispositivo de medición 26. En base a la posición L_{e24} del bastidor de la máquina 24 en coordenadas del marco de medición, se calcula a partir de la trayectoria de destino Z mediante transformaciones de coordenadas una trayectoria de herramienta $W: L_i(t) = (x_i(t), y_i(t), z_i(t), \alpha_i(t), \beta_i(t), \gamma_i(t))$ en coordenadas de máquina. El sistema de control 22 de la máquina controla los ejes de la máquina 14, 16, 18, así como los otros ejes dado el caso adicionalmente existentes de tal manera que la herramienta recorre la trayectoria de la herramienta.

La transformación se realiza por ejemplo mediante las matrices de transformación homogéneas. El sistema de coordenadas de la máquina se referencia mediante el sistema de medición. Aquí se determina la rotación

del sistema de coordenadas de la máquina L_i a partir de los sistemas de medición en el sistema de coordenadas de base/de medida L_e mediante la matriz de rotación R_i , así como el desplazamiento en traslación entre los sistemas de coordenadas como t_i . El vector de posición en el sistema de coordenadas de la máquina resulta de $r_i = [x_i(t) \ y_i(t) \ z_i(t)1]^T$ con el 1 como complemento para la transformación homogénea. Esto se calcula a partir de la trayectoria calculada globalmente $r_e = [x_e(t) \ y_e(t) \ z_e(t)]^T$ como $r_i(t) = [[R_i0]^T [t_i1]^T] r_e(t)$ y se conduce a la regulación de ejes del sistema de la máquina.

La figura 3 muestra esquemáticamente la secuencia de un procedimiento según la invención. En primer lugar, se determina una posición $L_{e,36}$ de la pieza de trabajo 36, como se muestra en la figura 1, en coordenadas del marco de medición respecto al dispositivo de medición 26. Como se describió antes, se determina a continuación la trayectoria de la herramienta W a partir de la trayectoria objetivo Z. A continuación se mecaniza la pieza de trabajo 36 mediante la herramienta 20, en el presente caso se fresa, recorriendo la trayectoria W. Durante el mecanizado, el bastidor de la máquina 24 está acoplado fijamente con al menos tres, en particular cuatro o más dispositivos de fijación, cada uno con un punto de acoplamiento 30.

Tan pronto como en la pieza 36 se ha realizado el acabado en la zona en la que la misma se puede mecanizar en la posición actual en el bastidor de la máquina 24, se suelta el dispositivo de fijación 34 (véase la figura 2). Para ello se sustituye la herramienta de corte, por ejemplo el cabezal de fresado, por una herramienta de fijación 40 mediante un cambiador de herramientas no representado (véase la parte 3a de la figura). La herramienta de fijación 40 se acopla con un punto de acoplamiento.

La parte 3b de la figura muestra cómo se desplaza el bastidor de la máquina 24 respecto a la bancada de la máquina 28 porque el portaherramientas 12, que en el presente caso está formado por un husillo, se mueve respecto al bastidor de la máquina 24. En otras palabras, los ejes de la máquina 14, 16, 18 se mueven de modo que el bastidor de la máquina 24 se mueve al estar fija la herramienta de fijación 40 (véase la parte 3c de la figura).

Una vez que se ha alcanzado una posición final predeterminada, los dispositivos de fijación 34 se conectan con otros puntos de acoplamiento 30. Dado que se conocen los puntos de acoplamiento, también se conoce la nueva posición del bastidor de la máquina 24 en coordenadas del marco de medición. Alternativamente, se vuelve a medir la nueva posición del bastidor de la máquina 24. A partir de la nueva posición y de la trayectoria objetivo Z fijamente predeterminada, se calcula una segunda trayectoria de la herramienta W2 y se mecaniza la pieza de trabajo según esta segunda trayectoria de la herramienta W2 (véase la figura 3d).

La figura 4 muestra esquemáticamente otro procedimiento correspondiente a la invención, en el que la pieza de trabajo 36 es la pared de un barco. El dispositivo de fijación 32 incluye varios electroimanes 42.1, 42.2, mediante los cuales está fijado el bastidor de la máquina 24 a la pieza de trabajo 36.

La parte izquierda de la imagen muestra que el dispositivo de medición 26 tiene tres interferómetros de láser 26.1, 26.2, 26.3, que preferiblemente pueden medir absolutamente y apuntan a los retrorreflectores que forman parte del bastidor de la máquina 24. A partir de las variaciones en las longitudes de la trayectoria óptica de los rayos láser o, en el caso de interferómetros de láser con medición absoluta, directamente mediante triangulación, se determina la posición del bastidor de la máquina 24 en coordenadas del marco de medición. El mecanizado de la pieza de trabajo 36 se muestra en la segunda y tercera partes de la imagen desde la izquierda.

La parte derecha de la imagen muestra el estado en el que la herramienta 20 está conectada con la pieza de trabajo 36. Para ello, la herramienta de fijación 40, que en el presente caso tiene electroimanes 40, se ha fijado a la pieza de trabajo 36. La herramienta de fijación 40 está conectada con la carcasa del husillo por medio del cual se hace girar la herramienta 20. Después de fijar la herramienta de fijación 40, se suelta el dispositivo de sujeción 32, por ejemplo, desenergizando los electroimanes 42.1. A continuación se accionan los ejes de la máquina de tal manera que el bastidor de la máquina 24 llega a una nueva posición predeterminada y se fija de nuevo a la pieza de trabajo 36 con el dispositivo de sujeción 32. A continuación se mide la nueva posición del bastidor de la máquina 24 tal como se ha descrito, se calcula la trayectoria W de la herramienta y se continúa con el mecanizado.

Lista de referencias

- | | |
|----|----------------------------------|
| 10 | máquina herramienta |
| 12 | portaherramientas |
| 14 | primer eje de la máquina |
| 16 | segundo eje de la máquina |
| 18 | tercer eje de la máquina |
| 20 | herramienta |
| 22 | sistema de control de la máquina |

ES 2 833 129 T3

	24	bastidor de la máquina
	26	dispositivo de medición
	28	bancada de la máquina
5	30	punto de acoplamiento
	32	dispositivo de sujeción
	34	dispositivo de fijación
10	36	pieza de trabajo
	38	dispositivo de sujeción
	40	herramienta de fijación
	42	electroimán
15	L _e	posición en coordenadas del marco de medición
	L _i	posición en coordenadas de máquina
	Z	trayectoria objetivo
	W	trayectoria de la herramienta
	T	tiempo

REIVINDICACIONES

- 5 1. Máquina herramienta (10) con
 - (a) un portaherramientas (12) en forma de un husillo para alojar una herramienta (20),
 - (b) al menos tres ejes de máquina (14, 16, 18) para posicionar el portaherramientas (12),
 - (c) un sistema de control de la máquina (22), diseñado para controlar los ejes de la máquina (14, 16, 18) tal que el portaherramientas (12) puede moverse sobre una trayectoria de la herramienta (W) que puede determinarse en un sistema de coordenadas de la máquina,
 - (d) un bastidor de la máquina (24), al que están fijados los ejes de la máquina (14, 16, 18),
 - (e) un dispositivo de fijación (32), diseñado para fijar el bastidor de la máquina (24) y una pieza de trabajo (36) relativamente entre sí y
 - (f) un dispositivo de medición (26),
15 que define un marco metrológico y mediante el cual se puede determinar la posición del bastidor de la máquina (24) respecto al dispositivo de medición (26),
 - (g) estando configurado el sistema de control de la máquina (22) para realizar automáticamente un procedimiento con las etapas:
20 (i) medir una posición del bastidor de la máquina (24) respecto al dispositivo de medición (26),
(ii) calcular la trayectoria de la herramienta (W) en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de una trayectoria objetivo (Z) predeterminada en coordenadas del marco de medición del dispositivo de medición (26) y
(iii) mover la herramienta (20) a lo largo de la trayectoria de la herramienta (W) por medio de los
25 ejes de la máquina (14, 16, 18), con lo que se puede mecanizar una pieza (36).
caracterizada por
(h) una herramienta de fijación (40) para fijar una parte estática del husillo de la máquina herramienta (10) a la pieza (36).
- 30 2. Máquina herramienta (10) según la reivindicación 1,
caracterizada por un dispositivo de movimiento para el movimiento autónomo del bastidor de la máquina (24).
- 35 3. Máquina herramienta (10) según la reivindicación 2,
caracterizada porque el sistema de control de la máquina (22) está diseñado para realizar automáticamente un procedimiento con las etapas:
- después de mecanizar la pieza de trabajo (36), controlar el dispositivo de movimiento tal que el
bastidor de la máquina (24) se mueve respecto al marco de medición,
- fijar el bastidor de la máquina (24) respecto al marco de medición,
40 - medir la nueva posición del bastidor de la máquina (24) respecto al marco de medición y
- calcular la trayectoria de la herramienta (W) en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de la trayectoria objetivo (Z) prescrita en coordenadas del marco de medición y
- mecanizar la pieza de trabajo (36) en base a la trayectoria de la herramienta (W).
- 45 4. Máquina herramienta (10) según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizada porque el sistema de control de la máquina (22) está equipado para realizar automáticamente un procedimiento con las etapas:
- controlar la herramienta de fijación (40) con lo que el portaherramientas (12) se fija al objeto
externo (36),
50 - mover el portaherramientas (12) respecto al bastidor de la máquina (24), con lo que el bastidor de la máquina (24) se mueve respecto al objeto (36) y
- fijar el bastidor de la máquina (24) respecto al objeto (24).
- 55 5. Máquina herramienta (10) según la reivindicación 4,
caracterizada por un equipo para la fabricación aditiva, en particular un cabezal de aplicación de láser.
- 60 6. Máquina herramienta (10) según una de las reivindicaciones precedentes,
caracterizada por
(a) un dispositivo de detección de la topografía de la superficie para captar una topografía de la
superficie de la pieza de trabajo (36),
(b) estando configurado el sistema de control de la máquina (22) para realizar automáticamente un
procedimiento con las etapas:
- captar la topografía de la superficie,
- comparar la topografía de la superficie con una topografía objetivo,
65 - generar una trayectoria de la herramienta a partir de una diferencia entre la topografía de la
superficie y la topografía objetivo y
- mecanizar la pieza de trabajo (36) de acuerdo con la trayectoria de la herramienta.

- 5 7. Procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo (36) con las etapas:
- (i) determinar una posición de la pieza de trabajo (36) respecto a un dispositivo de medición (26) de una máquina herramienta (10) según una de las reivindicaciones precedentes,
 - (ii) definir una trayectoria objetivo (Z) de la herramienta (20) en coordenadas del marco de medición del dispositivo de medición (26),
 - (iii) fijar el bastidor de la máquina (24) respecto a la pieza de trabajo (36),
 - (iv) determinar una posición del bastidor de la máquina (24) respecto al dispositivo de medición (26),
 - 10 (v) calcular una trayectoria para la herramienta (W) en el sistema de coordenadas de la máquina a partir de la trayectoria objetivo (Z) y de la posición del bastidor de la máquina (24),
 - (vi) mecanizar la pieza de trabajo (36) mediante la herramienta (20),
 - (vii) mover el bastidor de la máquina (24) respecto a la pieza de trabajo (36),
 - (viii) repetir las etapas (iii) a (vi) hasta que se ha recorrido por completo la trayectoria objetivo (Z).
- 15 8. Procedimiento según la reivindicación 7,
- caracterizado porque** la pieza de trabajo (36) tiene al menos en una dimensión espacial una extensión de al menos 3 m.
- 20 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 u 8,
- caracterizado porque** la pieza de trabajo (36) es un mamparo de avión o una parte de un barco.
10. Procedimiento según una de las reivindicaciones 7 a 9,
- caracterizado por** las etapas:
- captar la topografía de la superficie,
 - 25 - comparar la topografía de la superficie con una topografía objetivo,
 - generar una trayectoria de la herramienta a partir de una diferencia entre la topografía de la superficie y la topografía objetivo y
 - mecanizar la pieza de trabajo (36) de acuerdo con la trayectoria de la herramienta.

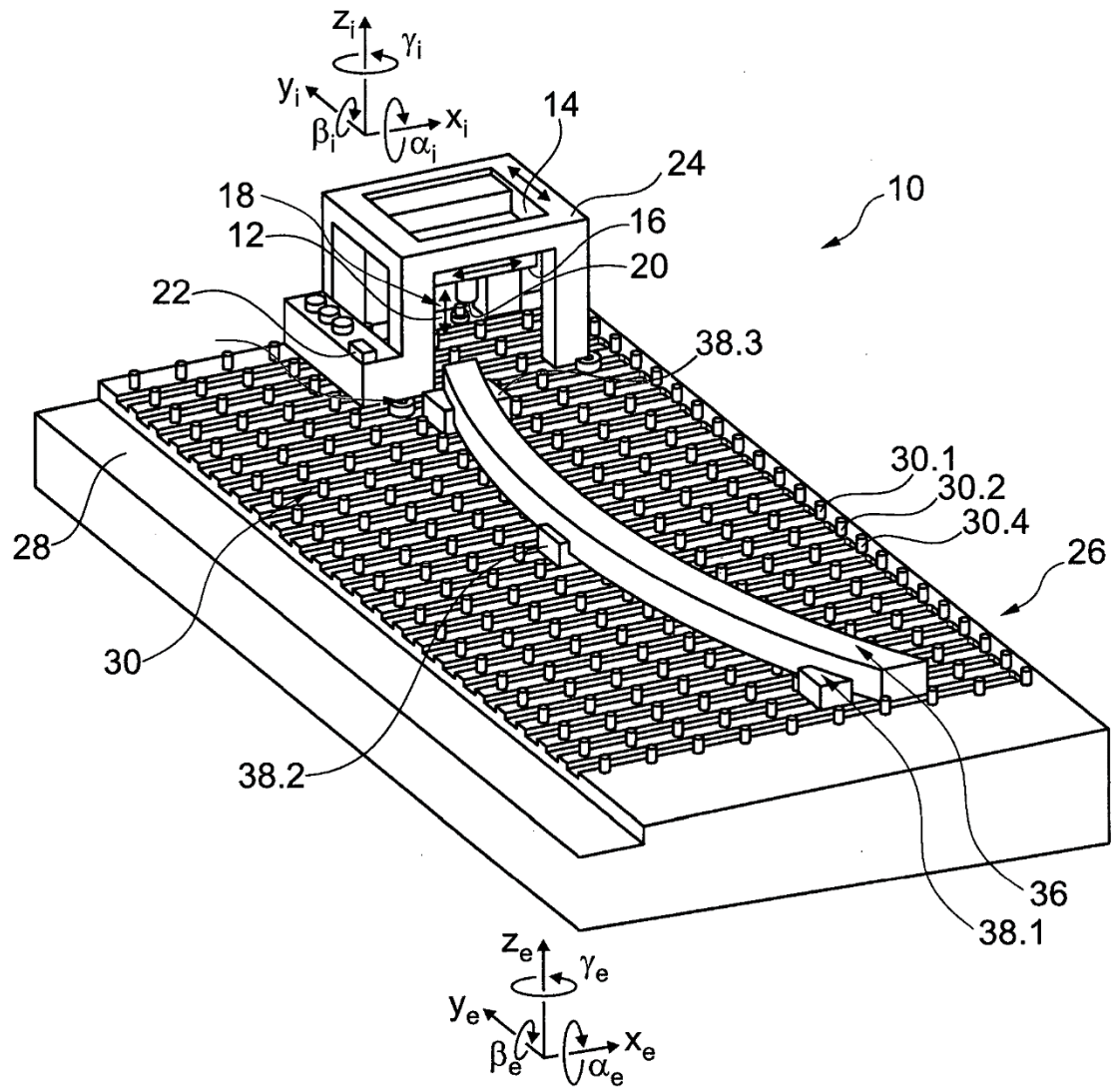


Fig. 1

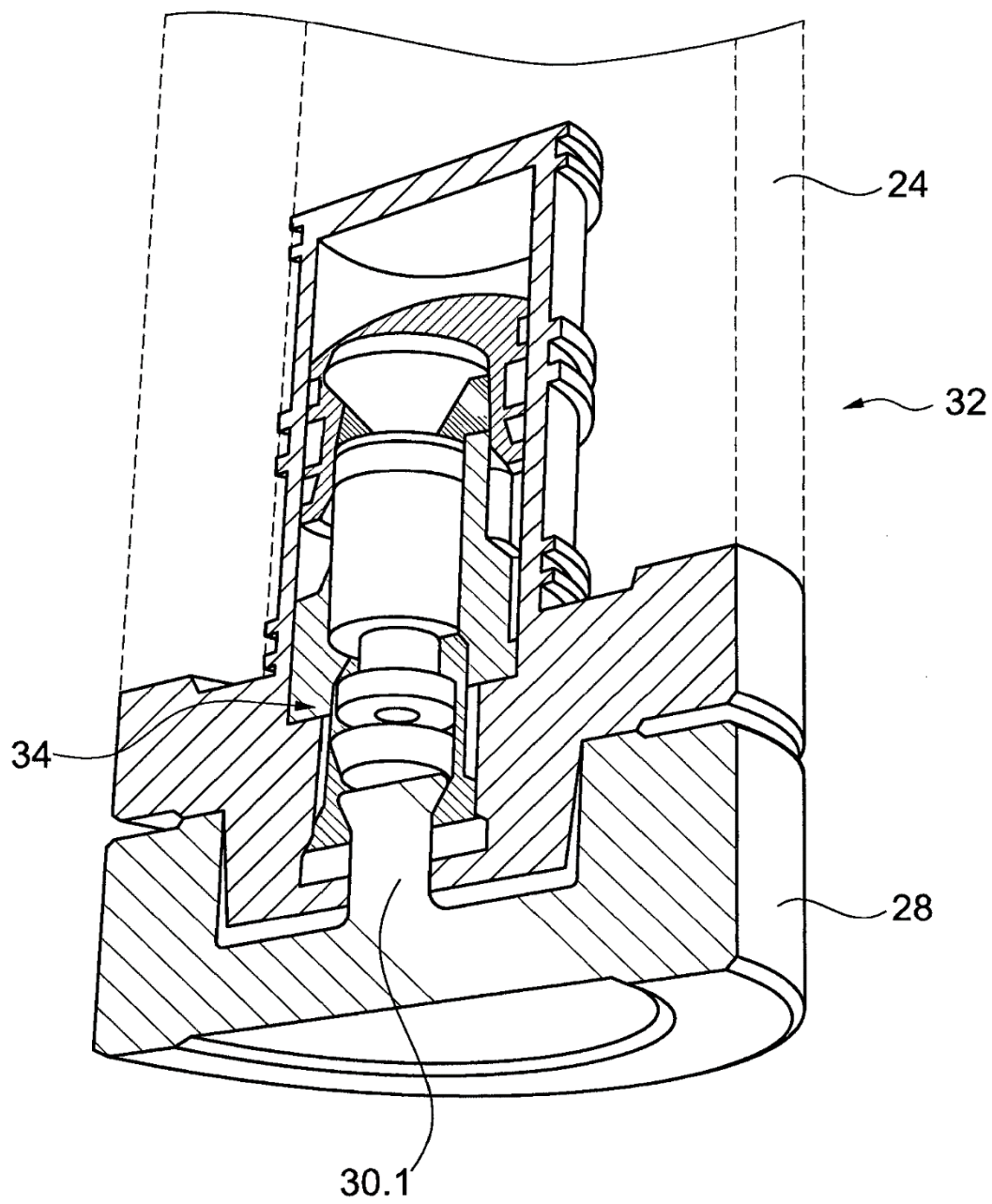


Fig. 2

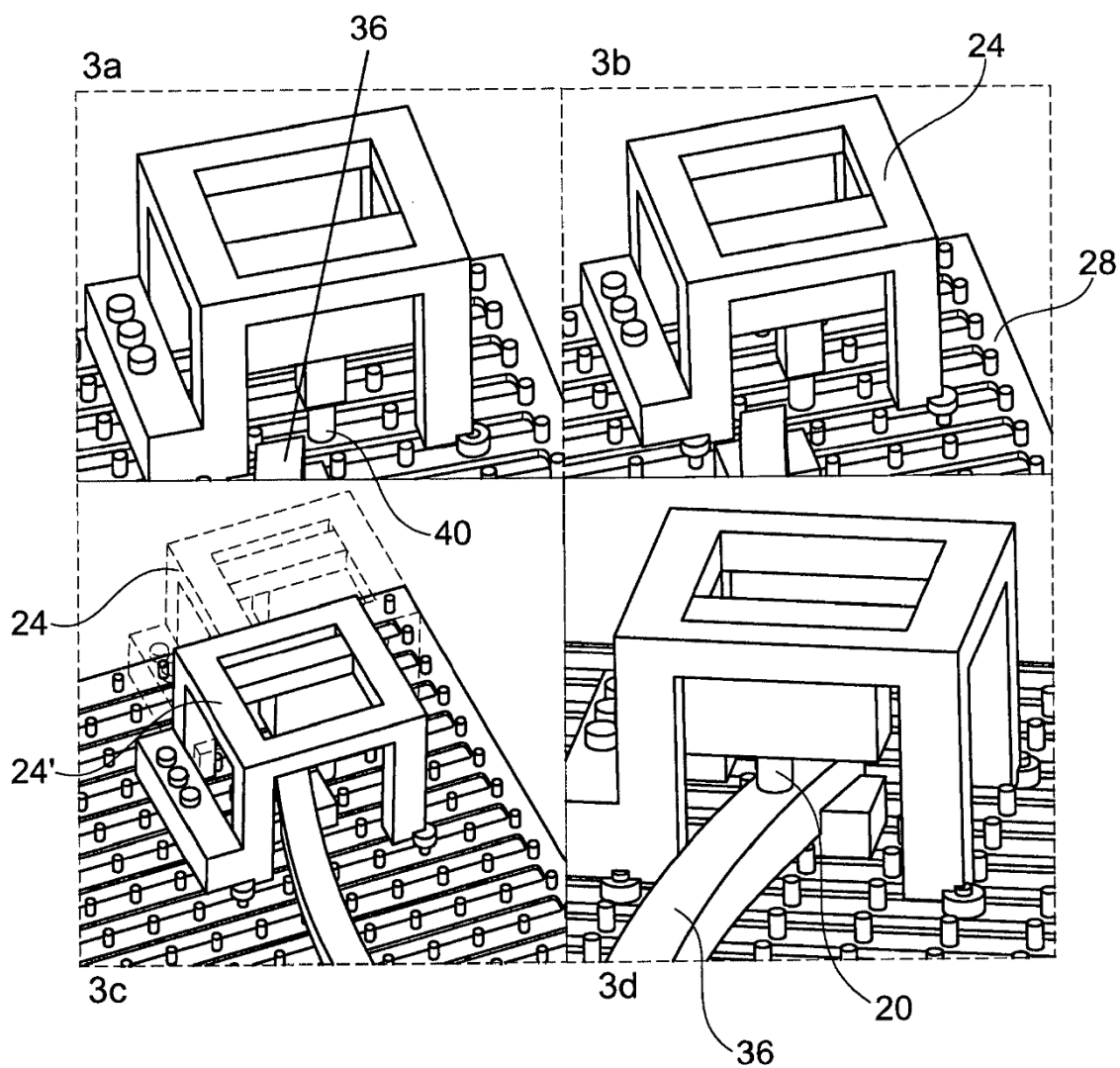


Fig. 3

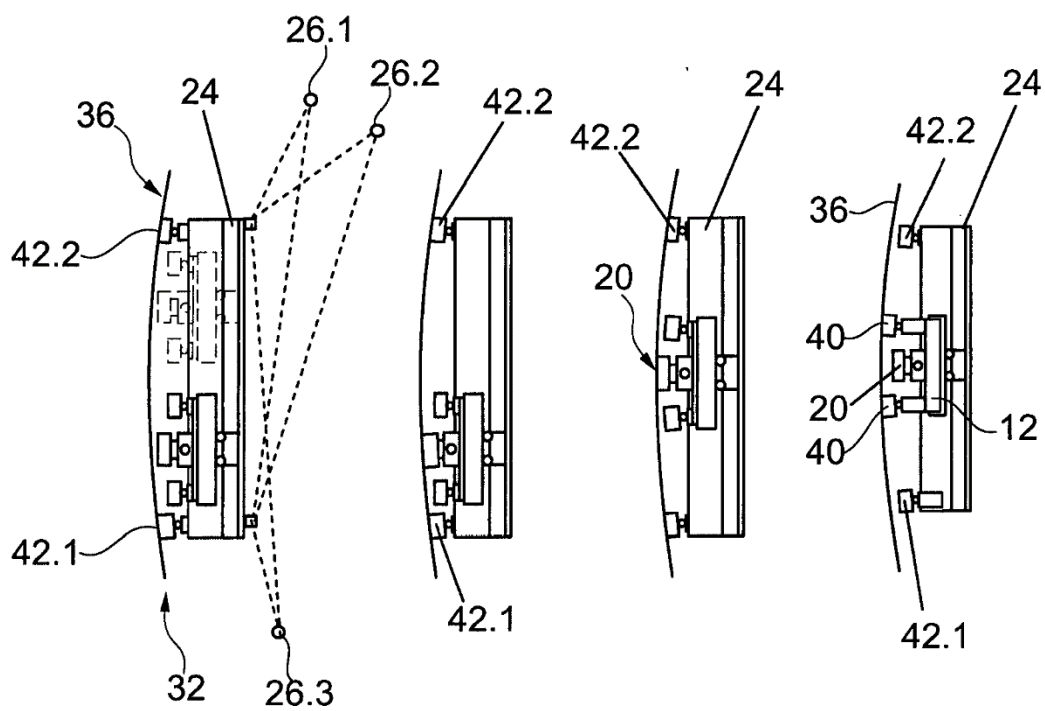


Fig. 4