

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 747 383**

51 Int. Cl.:

**G05B 19/401** (2006.01)

**G01C 5/04** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **27.02.2014** E 14156999 (6)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **26.06.2019** EP 2913729

54 Título: **Método y sistema para verificar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.03.2020**

73 Titular/es:

**FIDIA S.P.A. (100.0%)  
Corso Lombardia, 11  
10099 San Mauro Torinese, IT**

72 Inventor/es:

**MORFINO, GIUSEPPE y  
VESCO, MARIO**

74 Agente/Representante:

**MILTENYI , Peter**

**ES 2 747 383 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

Método y sistema para verificar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC

5 La invención se refiere a un método y a un sistema para verificar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC, en particular, una máquina de pórtico, con un cabezal de la máquina herramienta y una mesa de la máquina. En una máquina CNC (control numérico por ordenador), una pieza que se debe mecanizar o procesar se monta en una mesa de la máquina CNC. Un programa informático controla un cabezal de la máquina herramienta con respecto a su movimiento en una ubicación específica o a lo largo de una trayectoria específica donde se realizan  
10 operaciones de mecanizado o procesamiento.

Debido a las diferentes fuentes de error (por ejemplo, tolerancia de fabricación, desalineaciones, etc.), el cabezal de una máquina herramienta generalmente se acerca o se mueve a una posición que se desvía de la posición teórica (ideal) de acuerdo con el programa o control CNC. De esta manera, se producen errores de desplazamiento o  
15 posicionamiento. Los errores subyacentes a veces se clasifican en errores de posicionamiento estático y dinámico, en los que los errores de posicionamiento estático son el resultado de la geometría de la máquina, la rigidez de la estructura, etc., mientras que los errores dinámicos se basan en los parámetros del servo, la aceleración, etc.

Para corregir o compensar los errores de posicionamiento o desplazamiento, en primer lugar, es necesario medir o  
20 determinar estos errores. La técnica anterior proporciona diferentes métodos para medir errores con rastreadores láser o barras de bola telescópicas con interferómetro.

Sin embargo, dependiendo de la geometría y/o el tamaño de la máquina CNC, estos métodos convencionales no siempre son adecuados. Por ejemplo, en el caso de una máquina grande, en diferentes posiciones, el reflector que  
25 se monta en el cabezal de la máquina herramienta estará demasiado lejos de la fuente láser para que no se pueda hacer una determinación confiable de la posición. En vista de esto, existe la necesidad de un método y un sistema mejorados para determinar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC, en particular, para el caso de máquinas grandes.

30 A partir del documento US 5.105.368 se conoce una técnica para corregir el error de posicionamiento del robot.

Un sistema para inspeccionar movimientos a nivel de suelo, en particular, el movimiento relativo de las bancadas que soportan un detector se describe en J.C. Gayde *et al.* "Combined leveling systems for the vertical monitoring of a  
35 large physics experiment", 3er simposio IAG/12<sup>a</sup> FIG, Baden, 22-24 de mayo de 2006.

La técnica anterior adicional se ofrece por G. Schlesinger, "Testing Machine Tools", 7<sup>a</sup> edición, The Machinery Publishing Co., Ltd., documentos US 4.434.561 y SU508.674.

40 La invención proporciona por tanto un método de acuerdo con la reivindicación 1, un aparato de acuerdo con la reivindicación 11 y un sistema de acuerdo con la reivindicación 15.

En particular, se proporciona un método para determinar un error de posicionamiento de una máquina CNC, teniendo la máquina un cabezal de la máquina herramienta y una mesa de máquina, usando un sistema de  
45 coordenadas x, y, z (cartesiano), donde la coordenada z es la coordenada perpendicular a la superficie de la mesa de la máquina, comprendiendo el método comprende las etapas de

a) disponer una pluralidad de recipientes en la mesa de la máquina, donde los recipientes están en conexión  
50 fluida entre sí para formar un sistema de recipientes de comunicación, donde el sistema de recipientes de comunicación se llena con un líquido;

b) montar un sensor de distancia en el cabezal de la máquina herramienta;

c) colocar el cabezal de la máquina herramienta en una posición perpendicular sobre la superficie del líquido en  
55 uno de los recipientes;

d) acercar la superficie del líquido al sensor de distancia y determinar la coordenada z en la que el sensor de  
60 distancia toca la superficie del líquido,

o,

65 para una coordenada z predeterminada del cabezal de la máquina herramienta, determinar la distancia entre el sensor de distancia y la superficie del líquido;

donde las etapas c) y d) se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la  
superficie del líquido.

- Este método permite determinar la posicionamiento o la precisión geométrica en la dirección z para muchas geometrías y tamaños de máquina diferentes. El cabezal de la máquina herramienta se mueve a una posición x-y correspondiente a una posición de uno de los recipientes. De esta manera, el sensor se coloca sobre la superficie del líquido en dicho recipiente (a una altura o coordenada z dada por el control CNC), lo que permite determinar la altura o el nivel de la superficie del líquido. Esta determinación puede realizarse sin contacto, por ejemplo, midiendo la distancia entre el sensor de distancia o el cabezal de la máquina herramienta y la superficie del líquido. Como alternativa, la superficie del líquido puede acercarse desde arriba (es decir, a lo largo de la dirección z) hasta que el sensor se pone en contacto con la superficie del líquido. Puesto que la disposición de los recipientes forma un sistema de recipientes en comunicación, la altura o coordenada z de la superficie del líquido es la misma en todos los recipientes. Por lo tanto, la coordenada z determinada por el sistema CNC, teórica o idealmente, debería ser la misma para todos los recipientes. Como consecuencia, cualquier desviación o diferencia en la coordenada z de un recipiente a otro permite determinar la precisión de posicionamiento y, por lo tanto, un error de posicionamiento en la dirección z.
- 15 El "sistema de referencia" dado por los recipientes de comunicación que tienen un nivel igual en todas las posiciones x-y permite utilizar la máquina CNC generalmente imprecisa para medir y determinar sus propios e inherentes errores. Al repetir las etapas c) y d) para cada recipiente, se puede obtener un mapa de las coordenadas z de la superficie del líquido en las diferentes posiciones del recipiente.
- 20 La máquina CNC puede ser una máquina de pórtico.
- Son posibles diferentes tipos de sensores de distancia. Por ejemplo, el sensor de distancia puede ser un sensor de distancia sin contacto. En particular, puede ser un sensor de distancia láser, un sensor de distancia de microondas o un sensor de distancia de radar. Estos sensores permiten una determinación rápida y precisa de la distancia entre el sensor y/o el cabezal de la máquina herramienta y la superficie del líquido, por ejemplo, a través de una medición del tiempo de vuelo. Para estos casos, preferentemente, el líquido es reflectante de las ondas electromagnéticas utilizadas. Por ejemplo, cuando se usa un sensor de distancia láser, el líquido puede no ser transparente para la luz láser.
- 30 Como alternativa, en la etapa a), el líquido es una solución electrolítica y un elemento de electrodo, denominado electrodo del recipiente, se coloca en contacto con la solución electrolítica en cada recipiente; en la etapa b), el sensor de distancia comprende un elemento de electrodo, denominado electrodo del cabezal de herramienta, que se monta en el cabezal de la máquina herramienta, donde el material del electrodo del cabezal de herramienta es diferente del material del electrodo del recipiente; la etapa c) comprende acercar la superficie de la solución electrolítica en un recipiente con el electrodo del cabezal de herramienta; y la etapa d) comprende determinar la coordenada z para la que el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución mediante o a través de la determinación de una diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo del cabezal de herramienta y el electrodo del recipiente respectivo.
- 40 En otras palabras, la invención proporciona un método para determinar un error de posicionamiento de una máquina CNC, teniendo la máquina un cabezal de la máquina herramienta y una mesa de máquina, usando un sistema de coordenadas x, y, z (cartesiano), donde la coordenada z es la coordenada perpendicular a la superficie de la mesa de la máquina, comprendiendo el método comprende las etapas de
- 45 a) disponer una pluralidad de recipientes en la mesa de la máquina, donde los recipientes están en conexión fluida entre sí para formar un sistema de recipientes en comunicación, donde el sistema de recipientes en comunicación se llena con una solución electrolítica, y donde un elemento de electrodo, denominado electrodo del recipiente, se coloca en contacto con la solución electrolítica en cada recipiente;
- 50 b) montar un elemento de electrodo, denominado electrodo del cabezal de herramienta, en el cabezal de la máquina herramienta, donde el material del electrodo del cabezal de herramienta es diferente del material del electrodo del recipiente;
- 55 c) acercar la superficie de la solución electrolítica en un recipiente con el electrodo del cabezal de herramienta;
- d) determinar la coordenada z para la que el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución mediante o a través de la determinación de una diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo del cabezal de herramienta y el electrodo del recipiente respectivo;
- 60 donde las etapas c) y d) se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la superficie de la solución.
- De acuerdo con esta alternativa, el electrodo del cabezal de herramienta se acerca a la superficie de la solución electrolítica dentro del recipiente superior abierto desde arriba (es decir, a lo largo de la dirección z). Debido al uso de diferentes electrodos, es decir, electrodos de diferentes materiales, se produce una diferencia de potencial eléctrico tan pronto como el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución electrolítica, de

manera similar al caso de una celda galvánica. Esto permite que el sistema determine la coordenada z de la superficie de la solución electrolítica con un alto grado de precisión.

La solución electrolítica puede ser una solución salina.

5 Cada electrodo del recipiente se coloca y/o dispone de manera que la solución electrolítica lo humedezca. Por ejemplo, un elemento de electrodo, el electrodo del recipiente, puede colocarse en cada recipiente. Como alternativa, cada electrodo del recipiente puede estar incrustado dentro de la pared del recipiente (pero en contacto con la solución electrolítica) o puede perforar la pared del recipiente desde el exterior del recipiente. Como alternativa adicional, el electrodo del recipiente puede formarse como parte de la pared lateral del recipiente o la pared inferior, por ejemplo, como el elemento de base del recipiente.

15 Las etapas c) y d) pueden comprender determinar periódica y/o continuamente la diferencia de potencial mientras se acerca a la superficie de la solución hasta que se exceda un umbral predeterminado de diferencia de potencial. Una verificación regular y/o continua de este tipo de la diferencia del potencial eléctrico permite una determinación muy precisa de cuándo se alcanza la superficie de la solución electrolítica. Al tocar la superficie de la solución con el electrodo del recipiente, habrá un aumento repentino en la diferencia de potencial eléctrico. Al proporcionar un umbral predeterminado, el ruido durante el proceso de medición puede despreciarse de forma confiable.

20 En los métodos descritos anteriormente, la aproximación puede detenerse tan pronto como, en la etapa d), se determina un aumento en la diferencia de potencial, en particular por encima de un umbral de diferencia de potencial predeterminado.

25 En aras de la simplicidad, la "diferencia de potencial" puede referirse al valor absoluto de la diferencia de potencial eléctrico medida, para evitar complicaciones debido al signo.

30 Una detención inmediata de este tipo reduce el consumo de tiempo y acelera el método general. La determinación de la diferencia de potencial puede implicar un dispositivo de medición de la diferencia de potencial. El control de la máquina CNC puede sondear o muestrear periódica y/o continuamente el dispositivo de medición de la diferencia de potencial para determinar si se ha producido un aumento en la diferencia de potencial, particularmente por encima de un umbral predeterminado, seguido de una señal de parada de la parte de accionamiento del cabezal de la máquina herramienta. Como alternativa, el dispositivo de medición de la diferencia de potencial puede configurarse para enviar automáticamente una señal indicadora relacionada con la diferencia de potencial detectada a la máquina CNC. Una señal indicadora de este tipo puede enviarse periódicamente o solo si se detecta un aumento en la diferencia de potencial, particularmente por encima de un umbral predeterminado. La señal indicadora puede contener el valor de la diferencia de potencial determinada y/o (solo) una indicación de que se ha excedido un umbral predeterminado.

40 El acercamiento de la superficie puede ser a una velocidad constante, en particular, a una distancia predeterminada por encima del nivel estimado de la superficie de la solución. Por ejemplo, la velocidad puede estar entre aproximadamente 2 mm/min a 20 mm/min.

45 El electrodo del recipiente puede ser un electrodo metálico, por ejemplo, fabricado de aluminio. El electrodo del cabezal de herramienta puede comprender un material repelente al agua. En el lado orientado hacia la superficie de la solución, el electrodo del cabezal de herramienta puede tener forma de punta; Puede tener una forma esférica y/o cónica. El electrodo del cabezal de herramienta puede ser un electrodo de grafito, un electrodo de cobre o un electrodo de plata.

50 El uso de un electrodo hidrófobo o repelente al agua, como un electrodo de grafito, tiene la ventaja de que las distorsiones o errores durante la medición (por ejemplo, debido a algún efecto capilar al acercarse a la superficie de la solución y/o debido a que las gotas de la solución se adhieren al electrodo del cabezal de herramienta) se evitan o al menos se reducen.

55 Cada electrodo del recipiente y el electrodo del cabezal de herramienta puede conectarse eléctricamente a un dispositivo de medición de la diferencia de potencial, por ejemplo, un voltímetro. Como alternativa, cada electrodo del recipiente puede estar conectado eléctricamente a la tierra eléctrica de la mesa de la máquina.

60 Las etapas c) y d) de los métodos descritos anteriormente se pueden realizar de forma automatizada, en particular, a través de un programa correspondiente de la máquina CNC. Por ejemplo, las posiciones x-y de los recipientes, así como una altura o nivel estimados de la superficie del líquido, particularmente la solución electrolítica, y la trayectoria de movimiento entre los recipientes pueden programarse en la máquina CNC. Esto permite una ejecución eficaz de los métodos descritos para verificar la precisión de posicionamiento.

65 La etapa a) de los métodos descritos anteriormente puede comprender:

montar un emisor de luz en el cabezal de la máquina herramienta;

programar las coordenadas x-y de los lugares donde colocar los recipientes en la máquina CNC;

acercar cada coordenada x-y con el cabezal de la máquina herramienta;

5 montar un recipiente en el lugar de la mesa de la máquina identificado por un punto de luz del emisor de luz.

De esta manera, los lugares donde montar los recipientes se identifican de manera simple. Además, las coordenadas x-y para las posiciones de los recipientes deben programarse solo una vez y, después, pueden usarse tanto para montar los recipientes como para la etapa posterior de colocar el cabezal de la máquina herramienta sobre la superficie líquida en uno de los recipientes y/o acercar la superficie de la solución electrolítica en los recipientes, lo que conlleva por tanto a un procedimiento altamente eficaz. El emisor de luz puede ser un emisor láser.

15 Por lo general, se puede utilizar un número arbitrario de recipientes. Ya dos recipientes permiten determinar una desviación o diferencia en la coordenada z entre las ubicaciones de estos recipientes de herramientas. Particularmente cuando se usan más de dos recipientes, los recipientes pueden disponerse en forma de una matriz unidimensional o bidimensional. En particular, los recipientes pueden colocarse en los puntos de red de una red; por ejemplo, se puede usar una red rectangular o cuadrada.

20 En principio, los recipientes se pueden conectar fluidamente de forma arbitraria para formar el sistema de recipientes en comunicación. Por ejemplo, un recipiente puede conectarse a cada vecino próximo. Si los recipientes se disponen en puntos de red, cada recipiente se puede conectar de forma fluida a los recipientes en puntos de red vecinos. La conexión de fluido puede lograrse a través de tubos. Los tubos pueden ser mangueras flexibles o tuberías rígidas.

25 Los métodos descritos pueden comprender además la etapa de compensar un error de posicionamiento en la dirección z.

30 Dicha compensación puede obtenerse de diferentes maneras. Por ejemplo, la compensación puede implicar un reordenamiento mecánico o una realineación de la máquina. Como alternativa o adicionalmente, se puede implementar una compensación de software en el control de la máquina CNC. Se conocen diferentes algoritmos para la compensación de software. Por ejemplo, se puede emplear una compensación lineal resultante de una interpolación lineal de los valores de error o desviación en las posiciones de los recipientes vecinos.

35 La invención proporciona además un sistema para verificar la precisión de posicionamiento de acuerdo con la reivindicación 11. El líquido puede ser una solución electrolítica, y un elemento de electrodo, denominado electrodo del recipiente, puede ponerse en contacto con la solución electrolítica en cada recipiente.

Este sistema permite el rendimiento de los métodos descritos anteriormente.

40 Las características mencionadas anteriormente en relación con el método se pueden proporcionar también en el contexto del sistema. Por ejemplo, cada electrodo del recipiente puede colocarse dentro del recipiente o puede ser parte del recipiente; puede ser un electrodo de metal y/o los recipientes se pueden disponer en forma de matriz.

45 El aparato puede comprender un soporte sobre el que se montan los recipientes. Con un soporte de este tipo, el montaje y desmontaje del aparato, particularmente la disposición del recipiente, en una máquina CNC se simplifica y acelera.

La máquina CNC puede ser una máquina de pórtico.

50 El sistema se puede configurar además para realizar los métodos descritos anteriormente. En particular, el sensor de distancia comprende un elemento de electrodo, denominado electrodo del cabezal de herramienta, que se monta en el cabezal de la máquina herramienta, donde el material del electrodo del cabezal de herramienta es diferente del material del electrodo del recipiente, y el sistema puede comprender además un dispositivo de medición de la diferencia de potencial configurado para medir una diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo del recipiente y el electrodo del cabezal de herramienta. El electrodo del cabezal de herramienta puede ser un electrodo de grafito.

60 En el sistema, la máquina CNC puede programarse para colocar el cabezal de la máquina herramienta en una posición perpendicular sobre la superficie del líquido en uno de los recipientes, y determinar la coordenada z en la que el sensor de distancia toca la superficie del líquido, o, para una coordenada z predeterminada del cabezal de la máquina herramienta, determinar la distancia entre el sensor de distancia y la superficie del líquido, donde las etapas de posicionamiento y determinación se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la superficie del líquido.

65 En caso de utilizar elementos de electrodo, la máquina CNC puede programarse para acercarse a la superficie de la solución electrolítica en un recipiente con el electrodo del cabezal de herramienta y determinar la coordenada z para

la que el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución determinando una diferencia potencial entre el electrodo del cabezal de herramienta y el electrodo del recipiente respectivo, donde las etapas de aproximación y determinación se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la superficie de la solución.

5 Utilizando la diferencia en el potencial eléctrico, el sistema permite una verificación rápida y confiable de la precisión de posicionamiento de la máquina CNC.

10 El CNC se puede programar también para compensar un error de posicionamiento en la dirección z.

Otros aspectos se describirán a continuación con referencia a las figuras adjuntas.

15 La Figura 1 es una ilustración esquemática de un sistema para verificar la precisión de posicionamiento en el caso de una máquina de pórtico;

la Figura 2 ilustra esquemáticamente una parte de un aparato para verificar la precisión de posicionamiento; y

la Figura 3 ilustra esquemáticamente un aparato para verificar la precisión de posicionamiento.

20 La Figura 1 es una vista esquemática de una máquina de pórtico 1 que tiene un cabezal 2 de la máquina herramienta y una mesa 3 de la máquina. Una viga transversal móvil 4 descansa sobre un carril 5 a cada lado, estos carriles se disponen, teórica o idealmente, en paralelo. Durante la fase de construcción de la máquina de pórtico, todas las partes mecánicas se alinean y nivelan con precisión.

25 El sistema se describe generalmente usando un sistema de coordenadas cartesianas, donde las coordenadas x e y abarcan un plano paralelo a la mesa 3 de la máquina, mientras que la coordenada z es perpendicular a la misma. En este ejemplo, la viga transversal 4 se mueve en la dirección y, mientras que el cabezal de herramienta 2 se mueve en la dirección x a lo largo de la viga transversal 4. Cuando el cabezal 2 de la máquina herramienta está en una posición con una coordenada z específica, su altura sobre la mesa 3 de la máquina debe ser siempre la misma, independientemente de la posición x-y.

30 Sin embargo, debido a diferentes fuentes de error, como una desalineación o asimetría de las partes estructurales que soportan la carga, la altura real del cabezal 2 de la máquina herramienta por encima de la mesa 3 de la máquina varía para diferentes posiciones x-y.

35 Para determinar las desviaciones o los errores (estáticos), se proporciona un aparato 6 para verificar la precisión de posicionamiento en la mesa 3 de la máquina.

40 El aparato 6 comprende una pluralidad de recipientes 7 que se disponen en la mesa 3 de la máquina. En la realización ilustrada, los recipientes 7 se disponen en forma de una matriz bidimensional, más particularmente en los puntos de red de una red rectangular.

45 Cada recipiente superior abierto tiene una forma cilíndrica. Por ejemplo, los recipientes pueden tener una altura de 15 centímetros y un diámetro interno de 1 centímetro. La pared del cilindro se puede fabricar de una resina transparente o vidrio. Por supuesto, también son posibles otras geometrías, dimensiones y materiales.

50 Como se ilustra con más detalle en la Figura 2, cada recipiente se llena con una solución electrolítica 8. Como ejemplo, se puede usar una solución salina con una concentración de NaCl entre 5 % y 30 %. Cada recipiente 7 está en conexión fluida con sus próximos vecinos (a lo largo de los ejes de red) para formar un sistema de recipientes en comunicación. En otras palabras, el nivel de líquido de la solución electrolítica en cada recipiente tiene la misma altura; si se agrega solución electrolítica a un recipiente, el nivel aumentará en todos los recipientes.

La conexión de fluido se logra a través de tubos 9. Estos tubos 9 pueden ser mangueras flexibles o tuberías rígidas.

55 Dentro de cada recipiente 7, un electrodo 10 se sumerge en la solución electrolítica 8. Estos electrodos sumergidos 10 pueden denominarse electrodos de recipientes. En el cabezal 2 de la máquina herramienta, se monta un electrodo 11. Se puede montar como herramienta en el husillo 12 del cabezal 2 de la máquina herramienta. El electrodo que se monta en el cabezal de la máquina herramienta puede denominarse electrodo del cabezal de herramienta.

60 El electrodo 10 del recipiente y el electrodo 11 del cabezal de herramienta se fabrican de diferentes materiales. Como ejemplo, el electrodo 10 del recipiente se puede fabricar de aluminio, y el electrodo 11 del cabezal de herramienta se puede fabricar de grafito. Otros materiales son posibles también. Por ejemplo, tanto el electrodo 10 del recipiente como el electrodo 11 del cabezal de herramienta se pueden fabricar de metal; sin embargo, de diferentes metales.

65

El electrodo 11 del cabezal de herramienta se ahúsa hacia la solución electrolítica. Como ejemplo, en el lado que mira hacia los recipientes o la mesa de la máquina (es decir, el lado opuesto al cabezal de herramienta o al husillo), el electrodo 11 del cabezal de herramienta puede tener una forma cónica con una punta. Para evitar las gotas de la solución electrolítica adherida al electrodo 11 del cabezal de herramienta y/o para evitar cualquier efecto capilar al acercarse a la superficie de la solución electrolítica, el electrodo del cabezal de herramienta puede comprender un material hidrófobo o repelente al agua, al menos en la porción de punta. En el caso de un electrodo de grafito, el material del electrodo como tal ya es hidrófobo. Cuando se usa un electrodo de metal, al menos la porción de punta puede tratarse para lograr la repelencia al agua deseada.

El electrodo 11 del cabezal de herramienta se conecta eléctricamente a un dispositivo de medición 13 de la diferencia de potencial eléctrico (por ejemplo, un voltímetro) a través de un cable 14. Los electrodos del recipiente se conectan también al dispositivo de medición de la diferencia de potencial eléctrico a través de cables. Por ejemplo, estos cables se pueden disponer dentro de los tubos 9, por ejemplo, de modo que los electrodos de los recipientes en los recipientes vecinos estén eléctricamente conectados entre sí. En algún momento, a través de un cable, se hace un contacto eléctrico con el exterior del sistema del recipiente hacia el voltímetro. De esta manera, se puede medir una diferencia de potencial entre los electrodos 10 del recipiente y el electrodo 11 del cabezal de herramienta.

Como alternativa a colocar un electrodo del recipiente en cada recipiente, parte del recipiente en sí puede formarse como electrodo del recipiente. Por ejemplo, la base del recipiente se puede fabricar de aluminio sobre la que se monta una pared lateral (cilíndrica) fabricada de vidrio o resina. En este caso, la base del recipiente funciona como un electrodo del recipiente y puede contactarse eléctricamente desde el exterior con un cable para proporcionar una conexión eléctrica al dispositivo de medición de la diferencia de potencial eléctrico. Si la base del recipiente constituye el electrodo del recipiente, los recipientes se pueden fijar a la mesa de la máquina de manera que se asegure un contacto eléctrico con la tierra eléctrica de la mesa de la máquina. En este caso, se pueden evitar los cables de los electrodos del recipiente hasta el dispositivo de medición de la diferencia de potencial eléctrico.

Como alternativa adicional, el electrodo del recipiente puede estar incrustado dentro de la pared del recipiente o puede perforar la pared del recipiente desde el exterior de forma estanca a líquidos.

Debe entenderse que la disposición y el proceso descritos anteriormente no están restringidos a un uso de una máquina de pórtico, sino que también pueden emplearse en otras máquinas CNC.

La Figura 3 ilustra esquemáticamente otro aparato para verificar la precisión de posicionamiento. En esta realización, los recipientes 7 se montan fijamente en un soporte 15. De esta manera, el aparato 6 se puede disponer fácilmente en una mesa de la máquina y se puede retirar después de la ejecución de un proceso de medición.

En el ejemplo ilustrado en la Figura 3, los recipientes 7 se disponen en los puntos de red. Por supuesto, también son posibles otras disposiciones de los recipientes. El número de recipientes utilizados, así como su distancia entre los mismos, puede variar de acuerdo con la precisión deseada del proceso de medición. Como ejemplo, los recipientes pueden estar separados por una distancia de aproximadamente 10 centímetros a 50 centímetros.

Particularmente cuando los recipientes se van a montar directamente sobre la mesa de la máquina (pero también cuando se montan en un soporte separado), sus posiciones deseadas o previstas en coordenadas x-y se pueden programar en el control de la máquina CNC. Después, un emisor de luz, como un puntero láser, se monta en el cabezal de la máquina herramienta de tal manera que el haz de luz se dirige hacia la mesa de la máquina, es decir, paralelo al eje z. Un operario le indica a la máquina CNC que mueva el cabezal de herramienta a la primera posición del recipiente.

Cuando se alcanza esta posición, el cabezal de la máquina herramienta se detiene, y el punto de luz del emisor de luz en la mesa de la máquina indica la posición donde montar el primer recipiente. Después de haber dispuesto y fijado manualmente el recipiente en la posición indicada, el operario le indica a la máquina CNC que mueva el cabezal de la máquina herramienta a la siguiente posición, donde el segundo recipiente se monta en la ubicación del punto del haz de luz. Este procedimiento se repite hasta que todos los recipientes se hayan dispuesto en la mesa de la máquina.

Los recipientes se conectan entre sí de forma fluida para formar un sistema de recipientes en comunicación y se llenan con la solución electrolítica. En principio, el nivel de la solución electrolítica en los recipientes puede elegirse arbitrariamente. Como ejemplo, el nivel puede ser de 3 mm a 10 mm por debajo del borde superior (es decir, el extremo abierto) del recipiente.

La máquina CNC está además programada para acercarse a la posición x-y de cada recipiente mediante un movimiento en el plano x-y, seguido de un acercamiento a la superficie de la solución electrolítica a través de un movimiento en la dirección z a través de la abertura superior. El movimiento en la dirección z se controla de tal manera que se detiene cuando el electrodo 11 del cabezal de herramienta alcanza o toca la solución electrolítica. Este es el caso cuando el dispositivo de medición de la diferencia de potencial 13 mide una diferencia de potencial eléctrico. Tan pronto como el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución electrolítica, se

genera una diferencia de tensión o potencial entre los dos electrodos, de manera similar al caso de una celda galvánica.

5 Al acercarse a la superficie de la solución electrolítica, el cabezal de la máquina herramienta puede, en primer lugar, moverse a alta velocidad (por ejemplo, 20 mm/min) hasta que la punta del electrodo del cabezal de herramienta esté al nivel de la abertura del recipiente. Después, la velocidad en la dirección z se reduce, por ejemplo, a 3 mm/s. El dispositivo de medición de la diferencia de potencial 13 controla o mide continuamente la diferencia de potencial. Si la diferencia de potencial excede un umbral predeterminado, por ejemplo, de 0,1 V, el dispositivo 13 almacena un valor indicador en su memoria. Por ejemplo, el parámetro indicador puede tomar el valor de 1. Si no se detecta una  
10 diferencia de potencial (o si la diferencia de potencial está por debajo del umbral predeterminado), el parámetro indicador se establece en 0.

15 El control de la máquina CNC lee periódicamente los valores del indicador. Si el parámetro toma el valor de 1, el control detiene el movimiento del cabezal de la máquina herramienta y registra la coordenada z de esta posición.

De acuerdo con una implementación alternativa, el dispositivo de medición de la diferencia de potencial 13 se configura para generar una señal indicadora (que indica que la diferencia de potencial medida excede un umbral predeterminado), que se envía al control de la máquina CNC, activando así que el cabezal de la máquina herramienta se detenga. En este último caso, donde la máquina CNC no muestrea periódicamente el dispositivo 13,  
20 la velocidad de acercamiento del cabezal de la máquina herramienta puede aumentarse, por ejemplo, hasta 20 mm/s.

Como otra alternativa, el valor del indicador puede enviarse periódicamente del dispositivo 13 al control de la máquina CNC, por ejemplo, cada 2 ms. Después de que se haya determinado la coordenada z correspondiente al nivel de la solución electrolítica en el primer recipiente, el cabezal de la máquina herramienta se retrae en la dirección z y, después, se mueve a la posición x-y del siguiente recipiente. Allí, se repite el mismo proceso de aproximación a la superficie de la solución electrolítica. Después de haber determinado la coordenada z correspondiente a la superficie de la solución electrolítica en todos los recipientes, se obtiene un mapa de desviación para la pluralidad de posiciones x-y.  
30

Este mapa de desviación se puede utilizar para corregir el sistema, mediante una realineación mecánica de la trayectoria estructural de la máquina CNC y/o mediante una compensación en el software del CNC.

35 Como ejemplo de una compensación de software, una de las posiciones del recipiente se puede tomar como punto de referencia. Con respecto a este punto de referencia, el control de la dirección z se corrige o compensa de modo que, para el control CNC, la superficie de la solución electrolítica estará en la misma coordenada z para todas las posiciones x-y de los recipientes. Para las posiciones entre los recipientes, se puede usar una interpolación lineal.

40 En lugar de determinar el nivel o la altura del líquido en los recipientes a través del potencial eléctrico o la medición de tensión descritos anteriormente, también es posible utilizar un sensor de distancia sin contacto. En este caso, el líquido no necesita ser una solución electrolítica sino que puede ser cualquier líquido como el agua; Además, no es necesario colocar los electrodos en los recipientes.

45 El sensor de distancia sin contacto puede ser un sensor de distancia láser, un sensor de distancia de microondas o un sensor de distancia de radar. El sensor de distancia se monta en el cabezal de la máquina herramienta que se mueve a la posición x-y de cada recipiente mediante un movimiento en el plano x-y a una altura predeterminada (constante) o coordenada z. En cada recipiente, se mide la distancia desde el sensor y/o el cabezal de la máquina herramienta hasta la superficie del líquido, a partir de la que se puede determinar la coordenada z de la superficie del líquido. De esta manera, nuevamente, se obtiene un mapa de los niveles de superficie para la pluralidad de  
50 posiciones x-y.

55 Dependiendo de las condiciones ambientales y/o el período de tiempo durante el que se verifica la precisión de posicionamiento, se puede tener en cuenta la evaporación del líquido en los recipientes. Esto se puede lograr mediante mediciones correspondientes (por ejemplo, utilizando un atmómetro) y/o una simulación por ordenador (por ejemplo, una simulación dinámica molecular). Después, los efectos de evaporación en las coordenadas z medidas de la superficie del líquido pueden compensarse, por ejemplo, a través de un programa informático correspondiente.



**REIVINDICACIONES**

1. Método para verificar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC (1), en particular, de una máquina de pórtico, con un cabezal de la máquina herramienta (2) y una mesa de máquina (3), utilizando un sistema de coordenadas x, y, z, donde la coordenada z es la coordenada perpendicular a la superficie de la mesa de la máquina, comprendiendo el método las siguientes etapas:
- 5 a) disponer una pluralidad de recipientes (7) en la mesa de la máquina, donde los recipientes están en conexión fluida entre sí para formar un sistema de recipientes de comunicación, donde el sistema de recipientes de comunicación se llena con un líquido (8),
- 10 b) montar un sensor de distancia en el cabezal de la máquina herramienta,
- c) colocar el cabezal de la máquina herramienta en una posición perpendicular sobre la superficie del líquido en uno de los recipientes,
- d) acercar la superficie del líquido al sensor de distancia y determinar la coordenada z en la que el sensor de distancia toca la superficie del líquido,
- 15 o,
- para una coordenada z predeterminada del cabezal de la máquina herramienta, determinar la distancia entre el sensor de distancia y la superficie del líquido;
- donde las etapas c) y d) se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la superficie del líquido.
- 20 2. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde el sensor de distancia es un sensor de distancia sin contacto, en particular, un sensor de distancia láser, un sensor de distancia de microondas o un sensor de distancia de radar.
3. Método de acuerdo con la reivindicación 1, donde
- 25 en la etapa a), el líquido es una solución electrolítica y un elemento de electrodo (10), denominado electrodo del recipiente, se coloca en contacto con la solución electrolítica en cada recipiente,
- en la etapa b), el sensor de distancia comprende un elemento de electrodo (11), denominado electrodo del cabezal de herramienta, que se monta en el cabezal de la máquina herramienta, donde el material del electrodo del cabezal de herramienta es diferente del material del electrodo del recipiente,
- 30 la etapa c) comprende acercar la superficie de la solución electrolítica en un recipiente con el electrodo del cabezal de herramienta, y
- la etapa d) comprende determinar la coordenada z para la que el electrodo del cabezal de herramienta toca la superficie de la solución mediante de la determinación de una diferencia de potencial eléctrico entre el electrodo del cabezal de herramienta y el electrodo del recipiente respectivo.
- 35 4. Método de acuerdo con la reivindicación 3, donde las etapas c) y d) comprenden determinar periódica y/o continuamente la diferencia de potencial mientras se acerca a la superficie de la solución hasta que se exceda un umbral predeterminado de diferencia de potencial.
- 40 5. Método de acuerdo con la reivindicación 3 o 4, donde la aproximación se detiene tan pronto como, en la etapa d), se determina un aumento en la diferencia de potencial, en particular, por encima de un umbral predeterminado de diferencia de potencial.
6. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones 3-5, donde el electrodo del recipiente es un electrodo de metal y/o el electrodo del cabezal de herramienta es un electrodo de grafito.
- 45 7. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde las etapas c) y d) se realizan de forma automatizada, en particular, a través de un programa correspondiente de la máquina CNC.
- 50 8. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde la etapa a) comprende:
- montar un emisor de luz en el cabezal de la máquina herramienta,
- programar las coordenadas x-y de los lugares donde colocar los recipientes en la máquina CNC,
- acercar cada coordenada x-y con el cabezal de la máquina herramienta,
- montar un recipiente en el lugar identificado por un punto de luz del emisor de luz.
- 55 9. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, donde los recipientes se disponen en forma de una matriz.
10. Método de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, que comprende además la etapa de compensar un error de posicionamiento en la dirección z.
- 60 11. Sistema para verificar la precisión de posicionamiento que comprende:
- una máquina CNC (1), en particular, una máquina de pórtico, con un cabezal de la máquina herramienta (2) y una mesa de máquina (3),
- 65 un aparato (6) para verificar la precisión de posicionamiento de una máquina CNC, el aparato comprende una pluralidad de recipientes (7) dispuestos en la mesa de la máquina y en conexión fluida entre sí para formar un

sistema de recipientes de comunicación, donde el sistema de recipientes en comunicación se llena con un líquido (8),

5 donde un sensor de distancia se monta en el cabezal de la máquina herramienta, y se adapta para determinar una coordenada z de la superficie del líquido en cada recipiente, donde la coordenada z es la coordenada perpendicular a la superficie de la mesa de la máquina.

12. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11, donde el líquido es una solución electrolítica, y un elemento de electrodo (10), denominado electrodo del recipiente, se pone en contacto con la solución electrolítica en cada

10 recipiente, en particular, donde el electrodo del recipiente es un electrodo de metal.

13. Sistema de acuerdo con la reivindicación 11 o 12, donde los recipientes se disponen en forma de una matriz.

14. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 - 13, que comprende un soporte sobre el que se montan los recipientes.

15 15. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 - 14, donde el sensor de distancia comprende un elemento de electrodo (11), denominado electrodo del cabezal de herramienta, que se monta en el cabezal de la máquina herramienta, donde el material del electrodo del cabezal de herramienta es diferente del material del electrodo del recipiente, y

20 que comprende además un dispositivo de medición (13) de la diferencia de potencial configurado para medir una diferencia de potencial eléctrico entre un electrodo del recipiente y el electrodo del cabezal de herramienta.

16. Sistema de acuerdo con una de las reivindicaciones 11 a 15, donde la máquina CNC se programa para colocar el cabezal de la máquina herramienta en una posición perpendicular sobre la superficie del líquido en uno de los recipientes,

25 para acercar la superficie del líquido al sensor de distancia y para determinar la coordenada z para la cual el sensor de distancia toca la superficie del líquido o, para una coordenada z predeterminada del cabezal de la máquina herramienta, para determinar la distancia entre el sensor de distancia y la superficie del líquido,

30 donde las etapas de posicionamiento y determinación se repiten para cada recipiente para determinar una coordenada z respectiva de la superficie del líquido.

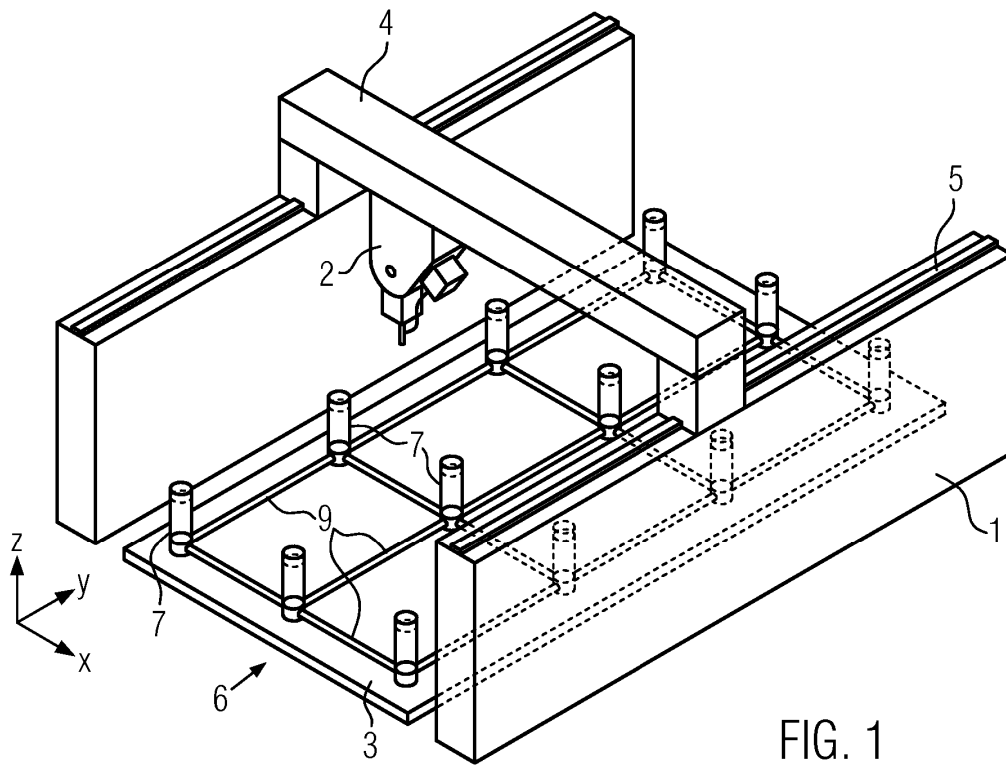


FIG. 1

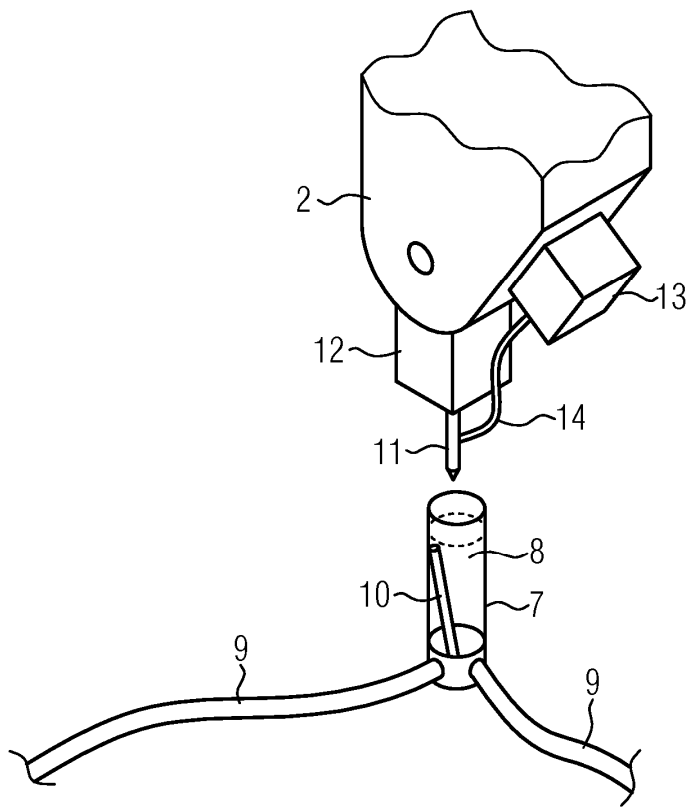


FIG. 2

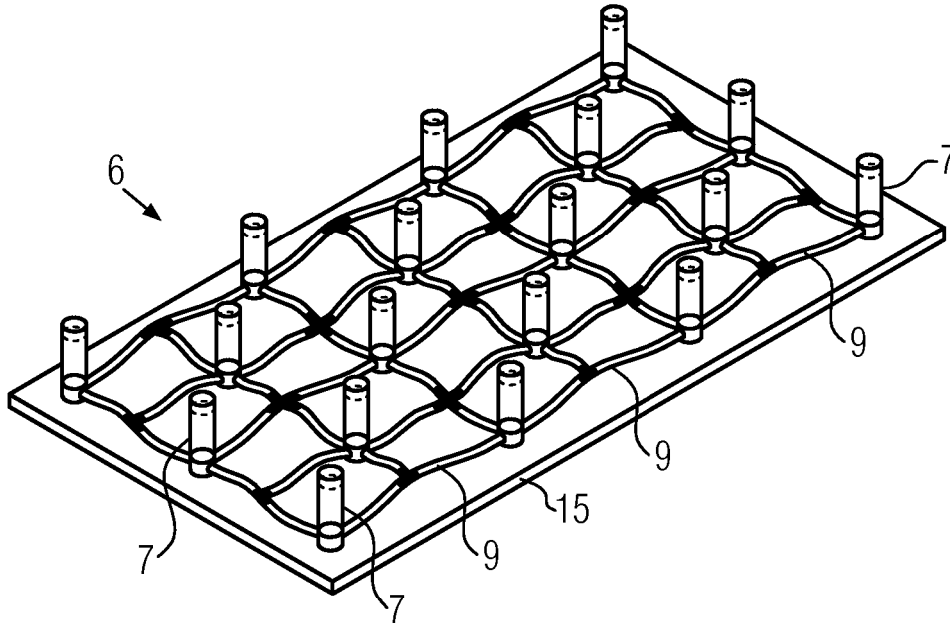


FIG. 3