

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 986 177**

51 Int. Cl.:

B23Q 17/22 (2006.01)

B23Q 17/24 (2006.01)

G05B 19/401 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **01.09.2020** **E 20382776 (1)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.05.2024** **EP 3960368**

54 Título: **Procedimiento de calibración de los errores geométricos de una máquina herramienta**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
08.11.2024

73 Titular/es:

IDEKO, S.COOP. (100.0%)
Poligono Industrial de Arriaga, 2
20870 Elgoibar Gipuzkoa, ES

72 Inventor/es:

URRETA PRIETO, HARKAITZ;
AGUIRRE REJADO, GORKA;
LEIZEA ALONSO, IBAI;
MENDICUTE GARATE, ALBERTO y
IÑIGO IBABE, BEÑAT

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 986 177 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Procedimiento de calibración de los errores geométricos de una máquina herramienta

5 **Sector de la técnica**

La presente invención propone un procedimiento para calibrar los errores geométricos de los ejes de accionamiento de una máquina herramienta con el propósito de mejorar la precisión en el posicionamiento de los ejes dentro del volumen de trabajo de la máquina.

10

Estado de la técnica

La calibración de las máquinas herramienta es un proceso necesario para la optimización de los procesos productivos en las industrias. Actualmente la industria demanda la fabricación de piezas de mayor valor añadido, lo cual requiere máquinas que tengan un error geométrico prácticamente despreciable.

15

El error geométrico de los ejes de accionamiento de una máquina herramienta es la causa principal de errores de precisión en el posicionamiento de la máquina, y se debe esencialmente, entre otros factores, al desajuste de los medios de medición de los ejes (reglas, codificadores, etc.), a la tipología de máquina, las cargas que soporta, así como sus defectos de fabricación y montaje.

20

En la actualidad, una técnica para calibrar los ejes de accionamiento de una máquina herramienta se basa en emplear una herramienta de calibración con unos patrones de referencia y un medidor de posición con el que se determina las posiciones espaciales de los patrones de referencia medidas en coordenadas de máquina.

25

Los patrones de referencia de la herramienta de calibración son una serie de formas geométricas, generalmente esferas, aunque también pueden ser otras formas (cilindros, conos, vértices, etc.). La posición relativa de los patrones de referencia es calibrada en una máquina de metrología con un orden mayor de precisión respecto a la que se espera medir en la máquina herramienta. De esta forma, la posición relativa de los patrones de referencia en la herramienta de calibración es perfectamente conocida, con lo que se emplea para calibrar con exactitud los ejes de accionamiento de la máquina herramienta.

30

Para llevar a cabo la calibración, el medidor de posición se dispone en el cabezal de la máquina herramienta, y la herramienta de calibración se dispone en el volumen de trabajo de la máquina, generalmente sobre la mesa de trabajo de la máquina en donde durante las operaciones de mecanizado está dispuesta la pieza a mecanizar. Con esta disposición, el cabezal va recorriendo los patrones de referencia mientras que el medidor va referenciando la posición espacial de cada uno de los patrones de referencia en coordenadas de máquina, para con esta información, poder calibrar los ejes de accionamiento de la máquina herramienta.

35

Uno de los principales problemas en la implantación de esta técnica de calibración es que *a priori* se desconoce la ubicación aproximada de la herramienta de calibración dentro del volumen de trabajo de la máquina, por lo que la medición requiere realizar movimientos de máquina con control manual por parte del operario para acercar el cabezal a la herramienta de calibración y que el medidor de posición pueda medir con precisión cada uno de los patrones de referencia y poder así calibrar los ejes de accionamiento de la máquina. Esto conlleva que el proceso de calibración de la máquina sea lento, lo que limita su interés industrial, ya que a veces la mejora en la precisión en el posicionamiento que otorga la calibración no compensa la pérdida de tiempo en la calibración.

40

45

Por ejemplo, el documento EP3101384B1, del mismo solicitante que la presente invención, describe un método de calibración de los ejes de accionamiento de una máquina herramienta que emplea un cabezal con un medidor y una herramienta de calibración con unos patrones de referencia en forma de esferas, siendo disponible la herramienta de calibración en el volumen de trabajo de la máquina herramienta. Este documento presenta el inconveniente de la pérdida de tiempo asociada al desplazamiento del cabezal con el medidor hasta los patrones de referencia de la herramienta de calibración.

50

Otro ejemplo de método de calibración y dispositivo de calibración puede encontrarse en el documento US 2010/302366 A1. Además, el documento US 2010/103431 A1 describe un aparato y un método para determinar una posición de un robot.

55

Objeto de la invención

60

De acuerdo con la presente invención se propone un procedimiento mejorado para calibrar los errores geométricos en el posicionamiento de una máquina herramienta con una reducción del tiempo total de calibración, estando dichos errores geométricos vinculados al movimiento de los ejes de accionamiento de la máquina.

65 El procedimiento se define en la reivindicación 1.

De esta forma, el desplazamiento del cabezal con el medidor hasta los patrones de referencia de la herramienta de calibración se realiza de forma automática empleando para ello la información de los marcadores de referencia obtenida por los medios de visión. Así, la invención propone emplear técnicas fotogramétricas para determinar la posición espacial aproximada de la herramienta de calibración dentro del volumen de trabajo de la máquina, con lo que se reduce considerablemente el tiempo de calibración, no requiriendo realizar movimientos de máquina con control manual por parte del operario para acercar el cabezal a la herramienta de calibración, tal y como proponen las soluciones del estado de la técnica descritas anteriormente.

Preferentemente, para mejorar la precisión en la determinación de la posición espacial de los marcadores de referencia, se puede capturar más de una imagen del volumen de trabajo de la máquina, en donde cada imagen es capturada desde una orientación diferente.

Para capturar más de una imagen desde orientaciones diferentes se han previsto dos opciones. Según una primera opción los medios de visión pueden ser una cámara móvil que captura varias imágenes del volumen de trabajo de la máquina desde orientaciones diferentes. Según una segunda opción los medios de visión pueden ser más de una cámara fija, y cada cámara fija captura una imagen del volumen de trabajo de la máquina desde una orientación fija y diferente.

Según la realización reivindicada, antes de desplazar el cabezal hasta la herramienta, se determina la posición relativa entre los primeros marcadores de referencia y los patrones de referencia, y también se determina la posición relativa entre los segundos marcadores de referencia y el medidor de posición. De esta manera, la unidad de control de la máquina herramienta conoce la posición espacial aproximada de los patrones de referencia para poder comandar los ejes de accionamiento y trasladar el medidor hasta los patrones de referencia, de modo que el medidor pueda establecer la posición espacial real de los patrones.

Preferentemente, la herramienta de calibración empleada puede comprender una barra en la que están dispuestos los patrones de referencia, teniendo dicha barra un eje de giro vertical. De esta forma, después de determinar las posiciones espaciales reales de los patrones de referencia mediante el medidor de posición, se puede rotar la barra según un giro controlado sobre el eje de giro vertical, quedando la barra dispuesta en una nueva orientación, y seguidamente se vuelven a determinar unas nuevas posiciones espaciales aproximadas y reales de los patrones de referencia de acuerdo con la nueva orientación. De esta manera, se mejora la corrección de los errores geométricos de la máquina al disponer de información de los patrones de referencia en diferentes orientaciones dentro del volumen de trabajo de la máquina.

De acuerdo con todo ello se obtiene un procedimiento mejorado para corregir los errores geométricos de los ejes de accionamiento de una máquina herramienta, en donde el empleo de técnicas de fotogrametría permite reducir considerablemente el tiempo total de calibración de la máquina, y por tanto se consigue que la mejora en la precisión en el posicionamiento compense el tiempo empleado en la calibración.

Descripción de las figuras

La figura 1 muestra un ejemplo de una máquina herramienta que puede ser calibrada empleando el procedimiento de la invención, y en donde se muestra un cabezal con un medidor de posición que tiene unos primeros marcadores de referencia, una herramienta de calibración con unos patrones de referencia que tiene unos segundos marcadores de referencia, y unos medios de visión para visualizar los marcadores dispuestos en el cabezal y en la herramienta de calibración.

Descripción detallada de la invención

En la figura 1 se muestra un ejemplo de realización de una máquina herramienta con unos ejes de accionamiento cuyo error geométrico puede ser minimizado empleando el procedimiento de calibración de la invención, de forma que se mejora la precisión en el posicionamiento de la máquina.

El ejemplo de la máquina herramienta representada en la figura 1 es una fresadora de columna móvil, no obstante, la configuración y tipo de máquina herramienta no es limitativa, siendo el procedimiento de calibración aplicable a cualquier máquina herramienta que tenga unos ejes de accionamiento para el posicionamiento de diferentes piezas móviles de la máquina, tales como fresadoras, mandrinadoras, tornos, rectificadoras, etc.

La máquina herramienta de la figura 1 comprende una mesa de trabajo (1), un bastidor (2) sobre el que se dispone una columna (3) que es móvil con respecto al bastidor (2), un ariete (4) que está dispuesto en la columna (3) y que es móvil con respecto a la columna (3), y un cabezal (5) que está dispuesto en un extremo libre del ariete (4).

La máquina herramienta está provista de al menos tres ejes de accionamiento lineales representados en la figura por los ejes "x, y, z". Mediante estos ejes de accionamiento se desplaza horizontalmente la columna (3) sobre el bastidor (2) en el eje "x", y se desplaza verticalmente el ariete (4) respecto de la columna (3) en el eje "y", y horizontalmente en el eje "z". Interpolando el movimiento de los ejes de accionamiento se puede disponer el cabezal (5) en diferentes

posiciones espaciales dentro del volumen de trabajo de la máquina herramienta.

La máquina herramienta puede estar provista de ejes de accionamiento adicionales. Por ejemplo, unos ejes de accionamiento para traslación y rotación de la mesa de trabajo (1) sobre un plano horizontal, pudiendo ser calibrados dichos ejes de accionamiento adicionales mediante el procedimiento de la invención.

Sin carácter limitativo, los ejes de accionamiento pueden ser tornillos de bola, engranajes piñón-cremallera, motores lineales, u otros sistemas de accionamiento similares comúnmente empleados en el sector de las máquinas herramienta.

Adicionalmente, el cabezal (5) es espacialmente orientable con respecto al ariete (4), y dicha orientación dependerá de la configuración de cabezal y sus ejes de rotación. Dichos ejes también podrían ser objeto de calibración.

Los ejes de accionamiento de la máquina herramienta se controlan mediante unos medios de medición propios de la máquina que determinan la posición de los ejes de accionamiento en el volumen de trabajo de la máquina. La posición de los ejes es medida en coordenadas de máquina (X, Y, Z) interpretables por la unidad de control (CNC) de la máquina.

Los medios de medición de la máquina son unas reglas de captación, una para cada eje de accionamiento de la máquina, de manera que mediante dichas reglas de captación se controla el desplazamiento relativo de la columna (3) y el ariete (4) respecto de la mesa de trabajo (1), pudiéndose determinar por tanto en todo momento la ubicación espacial del cabezal (5) en el volumen de trabajo de la máquina por medio de las lecturas de posición aportadas por dichas reglas de captación. En cualquier caso, los medios de medición podrían ser codificadores o cualquier otro sistema de medida que permita determinar la posición de los ejes de máquina.

Para llevar a cabo el procedimiento de calibración de la invención se emplea un medidor de posición (6) que está dispuesto en el cabezal (5) y una herramienta de calibración (7) con unos patrones de referencia (8).

La herramienta de calibración (7) con los patrones de referencia (8) se puede disponer en la mesa (1) dentro del volumen de trabajo de la máquina, mientras que, empleando los ejes de accionamiento, el cabezal (5) es desplazable por el volumen de trabajo de la máquina, y por tanto se puede disponer el medidor de posición (6) en cualquier posición espacial dentro del volumen de trabajo de la máquina.

El medidor de posición (6) está ubicado en la parte del cabezal (5) en donde generalmente se dispone la herramienta durante las operaciones de mecanizado de la máquina. Así, durante el procedimiento de calibración, en el cabezal (5) está dispuesto el medidor de posición (6), y durante el uso normal de la máquina durante el mecanizado, en el cabezal (5) está dispuesta la herramienta de trabajo. De esta manera, el medidor de posición (6) permite obtener valores de la posición espacial en donde generalmente se ubica la herramienta, que es precisamente la posición que se requiere calibrar con precisión para obtener piezas mecanizadas con menores tolerancias.

Los patrones de referencia (8) son unas formas geométricas cuya posición relativa en la herramienta de calibración (7) es conocida. Así, la posición relativa de los patrones (8) con respecto a la herramienta (7) se calibra previamente en una máquina de metrología de alto rango. (Por ejemplo, una máquina de medición de coordenadas "CMM"). Es decir, la disposición y orientación de los patrones (8) en la herramienta (7) es conocida con exactitud.

Preferentemente los patrones de referencia (8) son esferas, si bien puede ser otras formas geométricas como cilindros, conos, vértices o similares. En el caso de ser los patrones de referencia (8) esferas, durante el procedimiento de calibración se emplea el centro de la esfera como referencia para determinar con precisión la ubicación espacial de la esfera.

Preferentemente los patrones de referencia (8) están distribuidos a lo largo de una dirección principal de la herramienta de calibración (7). Adicionalmente los patrones de referencia (8) pueden estar distribuidos a lo largo de dos o tres direcciones, para dar información bidimensional o tridimensional y poder cubrir todo el volumen de trabajo de la máquina.

Como se muestra en la figura 1, la herramienta de calibración comprende un soporte vertical (7.1) y una barra (7.2) en donde están dispuestos los patrones de referencia (8), extendiéndose dicha barra (7.1) según la dirección principal. La barra (7.2) está dispuesta en un extremo del soporte vertical (7.1), mientras que en el extremo opuesto la barra (7.2) está unida a la mesa (1).

Preferentemente, la herramienta de calibración (7) tiene un eje de giro vertical (r) para rotar la barra (7.2) que tiene los patrones de referencia (8), y por tanto poder rotar 360° la dirección principal de la herramienta de calibración (7), pudiendo cubrir así todo el volumen de trabajo de la máquina. Así, la barra (7.2) puede rotar sobre el soporte vertical (7.1).

El medidor de posición (6) puede ser una sonda, o un medidor de tres sensores de desplazamiento lineales con una

disposición ortogonal entre sí, tal como se describe en el documento EP3101384B1 que se incorpora a la descripción como referencia. Cuando los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) son esferas, el medidor con los tres sensores de desplazamiento lineales se emplea para determinar el centro de cada una de las esferas.

5 El procedimiento de calibración de los errores geométricos de la máquina herramienta comprende dos etapas. Una primera etapa en donde empleando información de un sistema de fotogrametría se desplaza automáticamente el medidor de posición (6) hasta una posición espacial aproximada en donde se estima que se ubica uno de los patrones de referencia de la herramienta de calibración (7), y una segunda etapa en donde el medidor de posición (6) referencia la posición espacial real de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) para corregir los errores geométricos de la máquina herramienta. De esta manera, el tiempo empleado en la primera etapa se reduce considerablemente con respecto a otras técnicas de calibración, como por ejemplo la descrita en el documento EP3101384B1, en donde un operario debe buscar manualmente la posición espacial estimada de cada uno de los patrones de referencia de la herramienta.

15 De acuerdo con todo ello, el procedimiento de calibración comprende un primer paso en donde se disponen unos primeros marcadores de referencia (9) en la herramienta de calibración (7) que tiene los patrones de referencia (8) y unos segundos marcadores de referencia (10) en la máquina herramienta, para el caso de la realización preferente mostrada en la figura 1, dichos segundos marcadores de referencia (10) se disponen en el cabezal (5) que tiene el medidor de posición (6).

20 Los marcadores de referencia (9, 10) pueden ser pegatinas y/o semiesferas codificadas, como las mostradas en la figura 1, y/o crucetas de referencia, barras de patrones, o incluso entidades geométricas de la propia herramienta (7) o el cabezal (5), es decir no ser elementos que se disponen en la herramienta, sino que forman parte intrínseca de la propia herramienta (7).

25 En el primer paso, se determina la posición relativa entre los primeros marcadores de referencia (9) y los patrones de referencia (8). También se determina la posición relativa entre los segundos marcadores de referencia (10) y el medidor de posición (6). De esta manera, se conoce la posición relativa entre los marcadores (9, 10) y los patrones (8) y el medidor (6). Para esta calibración se puede emplear una técnica de metrología dimensional comúnmente conocida en las máquinas herramienta, sin que la técnica empleada sea limitativa para la invención, tal como, por ejemplo, técnicas sin contacto mediante medios laser, ópticos, o inductivos, digitalización 3D, o fotogrametría, o técnicas con contacto mediante sondas.

35 De esta forma, la disposición de los marcadores de referencia (9, 10) en la herramienta (7) y en el cabezal (5) puede ser arbitraria, sin que se tengan que disponer en una posición concreta. No obstante, aunque esta determinación de las posiciones relativas es recomendable, no es absolutamente necesaria, ya que si los marcadores (9, 10) se disponen en una posición concreta y conocida con respecto a la herramienta (7) y el cabezal (5) respectivamente, no sería necesario establecer esa relación entre los marcadores y la respectiva herramienta y cabezal, ya que en tal caso los marcadores referenciarían directamente el elemento cuya posición espacial se pretende conocer. Por ejemplo, los primeros marcadores (9) se pueden disponer directamente en los patrones de referencia (8) a medir, o en una posición conocida con respecto a dicha posición a medir. Lo mismo ocurre con el medidor (6), pudiendo disponerse los segundos marcadores (10) directamente en una posición conocida del medidor (6), siendo la forma geométrica del medidor conocida.

45 En un segundo paso se emplean unos medios de visión (11) para capturar al menos una imagen del volumen de trabajo de la máquina, de forma que mediante los medios de visión (11) es observable el volumen de trabajo de la máquina en donde se encuentran los primeros marcadores de referencia (9) de la herramienta de calibración (7) y los segundos marcadores de referencia (10).

50 Es preferible capturar más de una imagen del volumen de trabajo de la máquina desde orientaciones diferentes, de manera que se disponga de más información espacial de los marcadores (9, 10) para mejorar la precisión de la calibración. Así, para aplicar técnicas fotogramétricas de reconstrucción 3D, es preferible disponer de información bidimensional de cada marcador (9, 10) de dos o más imágenes capturadas desde orientaciones diferentes.

55 Los medios de visión (11) pueden ser una cámara móvil, para poder capturar varias imágenes del volumen de trabajo de la máquina desde diferentes orientaciones, o más de una cámara fija, para con cada cámara fija poder capturar una imagen del volumen de trabajo de la máquina desde una orientación fija y diferente a la imagen capturada con la otra u otras cámaras fijas.

60 En un tercer paso se emplea la imagen o imágenes capturadas por los medios de visión (11) para determinar la posición espacial de cada uno de los primeros y segundos marcadores de referencia (9, 10) en el volumen de trabajo de la máquina. Las posiciones espaciales de los marcadores (9, 10) se determinan empleando algoritmos de fotogrametría que permiten transformar la información bidimensional de las imágenes en información tridimensional.

65 Cuanto mayor sea el número de imágenes capturadas mejor será la precisión en la determinación de la posición espacial de los marcadores. Por ello, para mejorar la precisión en la determinación de las posiciones espaciales es

preferible capturar dos o más imágenes del volumen de trabajo de la máquina, bien con la cámara móvil desde varias orientaciones, o bien con las cámaras fijas desde varias orientaciones.

La información de la posición espacial de los marcadores (9, 10) se envía a la unidad de control CNC de la máquina herramienta que comanda el accionamiento de los ejes de la máquina. Dicha información espacial se codifica en coordenadas de máquina.

En un cuarto paso se determinan las posiciones espaciales aproximadas de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) de acuerdo con la posición espacial de cada uno de los primeros y segundos marcadores de referencia (9, 10) determinada en el paso anterior mediante las técnicas fotogramétricas. Esta determinación de la posición espacial en donde se estima que se encuentran los patrones (8) dentro del volumen de trabajo de la máquina se consigue ya que la posición relativa entre los primeros marcadores de referencia (9) y los patrones de referencia (8), así como la posición relativa entre los segundos marcadores de referencia (10) y el medidor de posición (6), es conocida, tal y como se ha descrito en el primer paso.

En un quinto paso se desplaza el cabezal (5) con el medidor de posición (6) hasta uno de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) de acuerdo con las posiciones espaciales aproximadas de los patrones de referencia (8) determinadas en el paso anterior. Para ello la unidad de control de la máquina herramienta comanda los ejes de accionamiento para trasladar el cabezal (5) con el medidor (6) hasta la posición espacial aproximada de uno de los patrones de referencia (8) que está codificada en coordenadas de máquina.

En un sexto paso se va desplazando el cabezal (5) con el medidor (6) por los patrones de referencia (8) y se determinan las posiciones espaciales reales de los patrones de referencia (8) en coordenadas de máquina mediante el medidor (6). Las posiciones espaciales reales de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) se determinan con precisión mediante el medidor de posición (6).

Finalmente, en un séptimo paso los errores geométricos de la máquina herramienta se corrigen procesando y comparando las posiciones espaciales aproximadas de los patrones de referencia (8) con sus respectivas posiciones reales medidas en coordenadas de máquina mediante la unidad de control CNC de la máquina.

La corrección de los errores geométricos de la máquina herramienta se lleva a cabo referenciado con precisión mediante el medidor (6) los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7). Para ello, como se ha indicado anteriormente en el quinto paso, el cabezal (5) desplaza el medidor (6) y lo dispone en uno de los patrones de referencia (8) de acuerdo con la posición espacial aproximada de dicho patrón (8), que es determinada en el tercer y cuarto paso mediante algoritmos de fotogrametría empleando para ello los marcadores de referencia (9, 10). La relación entre los primeros marcadores de referencia (9) y los patrones (8), y entre los segundos marcadores de referencia (10) y el medidor (6), es conocida ya que en el primer paso del procedimiento se ha determinado dicha relación.

Dicha posición espacial aproximada en donde se espera que se encuentre el patrón (8) se codifica según coordenadas (X, Y, Z) de los ejes de accionamiento de la máquina. Con el medidor (6) dispuesto en la posición espacial aproximada, en donde se espera se encuentre el patrón (8), se procede a determinar la posición espacial real del patrón (8), y dicha posición espacial real, que es determinada con exactitud mediante el medidor (6), se codifica igualmente según coordenadas (X, Y, Z) de los ejes de accionamiento de la máquina. De acuerdo con ello, los medios de visión (11) permiten la aproximación del medidor (6) a los patrones de referencia (8), de modo que la corrección de errores geométricos se realiza comparando datos de las medidas de posición de los patrones (8) realizadas con el medidor (6) con los valores calibrados de los patrones (8), y procesando todos esos datos se estiman los errores en todo el volumen de trabajo de la máquina.

La forma en que el medidor de posición (6) determina con precisión la posición espacial real del patrón (8) es conocida, y por tanto no se entra a describir en mayor detalle. Véase por ejemplo el documento EP3101384B1 que se incorpora como referencia. Por ejemplo, tal y como se describe en el documento EP3101384B1, cuando el medidor son tres sensores de desplazamiento lineales con una disposición ortogonal entre sí, y los patrones de referencia (8) son esferas, el medidor de posición (6) se emplea para referenciar con precisión la posición espacial real del centro de la esfera.

Cuando se ha referenciado la posición espacial real de uno de los patrones (8), el cabezal (5) desplaza el medidor (6) hasta otro de los patrones (8), y se repite el proceso de la cuarta y quinta etapa. Este proceso se puede repetir para cada uno de los patrones (8) de la herramienta de calibración (7).

Para mejorar la corrección de los errores geométricos de los ejes de accionamiento es preferible calibrar el mayor número de posiciones espaciales posibles dentro del volumen de trabajo de la máquina. De acuerdo con ello, después de haber realizado los pasos cuarto, quinto y sexto para cada uno de los patrones (8) de la herramienta (7), se posiciona la herramienta de calibración (7) en una nueva posición y/u orientación dentro del volumen de trabajo de la máquina, y se vuelven a repetir los pasos cuarto, quinto y sexto para cada uno de los patrones (8) de la herramienta (7).

La nueva posición y/u orientación se puede obtener disponiendo manualmente la herramienta (7) en otro lugar de la mesa de trabajo (1). Sin embargo, preferentemente, la nueva orientación se obtiene rotando de forma automática la barra (7.2) de la herramienta (7) sobre su eje de giro vertical (r). La rotación de la barra (7.2) se realiza según un giro controlado, de manera que siendo conocido dicho giro, también son conocidas las posiciones espaciales aproximadas de los patrones (8) tras el giro, no siendo necesario tener que repetir el tercer paso que emplea los medios de visión (11) para determinar la aproximación.

5

En caso de obtener la nueva posición y/u orientación manualmente, el tercer paso se debería repetir para determinar mediante fotogrametría la posición espacial aproximada de los patrones (8) en base a la información de los marcadores de referencia (9, 10).

10

Los pasos cuatro, cinco y seis se pueden repetir para más de una nueva orientación de la herramienta (7).

Después de haber referenciado todos los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7), se procesan todas las mediciones realizadas y se calculan los errores geométricos de la máquina herramienta comparando las posiciones espaciales aproximadas de los patrones con las posiciones espaciales reales.

15

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento de calibración de los errores geométricos de una máquina herramienta con un cabezal (5) desplazable en el volumen de trabajo de la máquina, que emplea un medidor de posición (6) disponible en el cabezal (5) y una herramienta de calibración (7) con unos patrones de referencia (8) disponibles en el volumen de trabajo de la máquina, siendo la posición espacial de los patrones de referencia (8) determinada mediante el medidor de posición (6) para corregir automáticamente los errores geométricos de la máquina herramienta, **caracterizado por que** el procedimiento comprende los pasos de:
 - emplear unos primeros marcadores de referencia (9) disponibles en la herramienta de calibración (7) y emplear unos segundos marcadores de referencia (10) disponibles en la máquina herramienta;
 - determinar la posición relativa entre los primeros marcadores de referencia (9) y los patrones de referencia (8), y la posición relativa entre los segundos marcadores de referencia (10) y el medidor de posición (6);
 - emplear unos medios de visión (11) comprendiendo una cámara móvil o más de una cámara fija para capturar al menos una imagen del volumen de trabajo de la máquina, siendo observables en el volumen de trabajo de la máquina los primeros marcadores de referencia (9) de la herramienta de calibración (7) y los segundos marcadores de referencia (10);
 - determinar una posición espacial para cada uno de los primeros y segundos marcadores de referencia (9, 10) en el volumen de trabajo de la máquina, empleando al menos una imagen capturada por los medios de visión (11);
 - determinar las posiciones espaciales aproximadas de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) de acuerdo con la posición espacial de cada uno de los primeros y segundos marcadores de referencia (9, 10) determinada en el paso anterior;
 - desplazar automáticamente el cabezal (5) con el medidor de posición (6) hasta uno de los patrones de referencia (8) de la herramienta de calibración (7) de acuerdo con las posiciones espaciales aproximadas de los patrones de referencia (8) determinadas en el paso anterior;
 - determinar las posiciones espaciales reales de los patrones de referencia (8) mediante el medidor de posición (6);
 - corregir automáticamente los errores geométricos de la máquina herramienta procesando la información de las posiciones espaciales aproximadas y reales de los patrones de referencia (8).
2. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde se captura más de una imagen del volumen de trabajo de la máquina, y en donde cada imagen es capturada desde una orientación diferente.
3. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde los medios de visión (11) son una cámara móvil que captura varias imágenes del volumen de trabajo de la máquina desde orientaciones diferentes.
4. Procedimiento según la reivindicación 2, en donde los medios de visión (11) son más de una cámara fija, y cada cámara fija captura una imagen del volumen de trabajo de la máquina desde una orientación fija y diferente.
5. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la posición relativa se determina empleando una técnica de metrología dimensional.
6. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde la herramienta de calibración (7) empleada comprende una barra (7.2) en donde están dispuestos los patrones de referencia (8), teniendo dicha barra (7.2) un eje de giro vertical (r), de forma que después de determinar las posiciones espaciales reales de los patrones de referencia (8) mediante el medidor de posición (6), se rota la barra (7.2) según un giro controlado sobre el eje de giro vertical (r), quedando la barra (7.2) dispuesta en una nueva orientación, y seguidamente se vuelven a determinar unas nuevas posiciones espaciales aproximadas y reales de los patrones de referencia (8) de acuerdo con la nueva orientación.
7. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde los patrones de referencia (8) de la herramienta (7) son unas formas geométricas cuya posición relativa en la herramienta de calibración (7) es conocida y ha sido previamente calibrada en una máquina de metrología de alto rango.
8. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde las formas geométricas son esferas.
9. Procedimiento según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde las posiciones espaciales de los patrones de referencia (8) se codifican en coordenadas de máquina empleando unos medios de medición de la posición de los ejes de accionamiento de la máquina herramienta.
10. Procedimiento según la reivindicación anterior, en donde los medios de medición son reglas ópticas o codificadores que determinan la posición de uno de los ejes de accionamiento de la máquina.

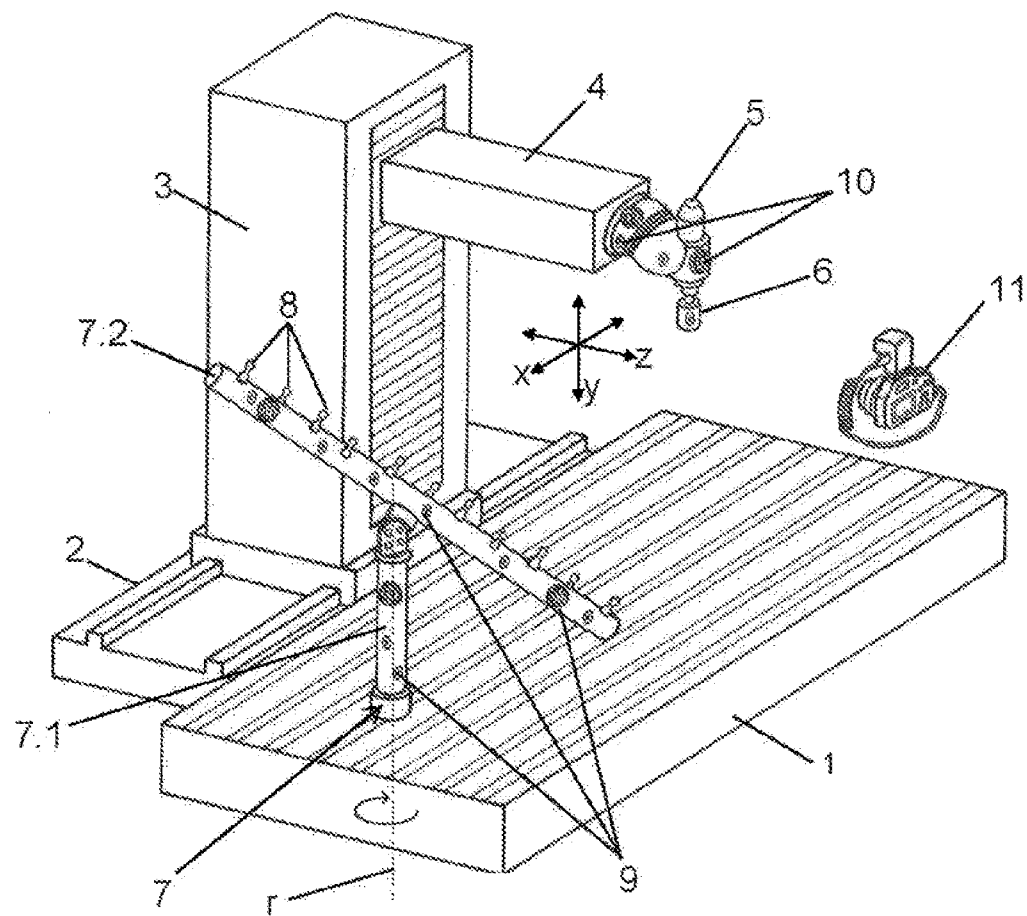


FIG. 1