

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 636 015**

51 Int. Cl.:

G05B 19/401 (2006.01)

G05B 19/404 (2006.01)

G05B 19/416 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **05.03.2010 E 10002317 (5)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **31.05.2017 EP 2363772**

54 Título: **Método para mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
05.10.2017

73 Titular/es:
FIDIA S.P.A. (100.0%)
Corso Lombardia, 11
10099 San Mauro Torinese, IT

72 Inventor/es:
MORFINO, GIUSEPPE, DR.

74 Agente/Representante:
MILTENYI, Peter

ES 2 636 015 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 para mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie

La invención se refiere a un método para mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie.

5 Mientras se mueve una herramienta sobre la superficie de una pieza mediante una máquina de CNC, la herramienta está realizando, en general, alguna clase de tratamiento sobre la pieza. El resultado del tratamiento depende del tratamiento de la superficie en condiciones óptimas, tales como tratar la superficie con ángulos predeterminados y en direcciones preferidas asociadas con la estructura del material. Para obtener buenos resultados para el tratamiento, se define una trayectoria preferida para mover la herramienta durante el tratamiento basándose en un modelo de la forma de la superficie que se espera formar basándose en consideraciones teóricas.

10 Sin embargo, si la pieza se ha sometido previamente a etapas de tratamiento, puede haberse producido algo de desgaste que tiene como consecuencia que la forma real de la pieza que va a procesarse es algo diferente de su forma teórica. Por tanto, seguir la trayectoria preferida para el tratamiento adicional de la superficie conduce a trabajar la superficie en posiciones, direcciones y/o con ángulos que difieren de los previstos para el tratamiento óptimo. Particularmente cerca de extensiones con grandes curvaturas, tales como rebordes, las diferencias entre las condiciones de trabajo previstas y reales para la herramienta pueden ser considerables.

15 Para obtener una mejor adaptación del tratamiento a la forma real de la superficie de la pieza, el sistema dado a conocer por el documento WO 2007/016919 enseña determinar trayectorias óptimas para mover la herramienta, basándose en datos de geometría de la superficie en 3D deseada y de la herramienta. El sistema dado a conocer puede combinarse con un procedimiento de medición mecánico o sin contacto (tal como medición por láser) para obtener un procesamiento inteligente y autónomo de la superficie. Las formas en 3D de la superficie, las tolerancias así como la rugosidad y la resistencia de la superficie se toman del programa de dibujo y se realizan mediante el sistema dado a conocer.

20 Además, el artículo "Hammern bis zum Glanz", werkzeug & formenbau, marzo de 2007, página 36, menciona un método de tratamiento con martillo de una superficie en el que, tras haber intercambiado una herramienta anterior por una herramienta de martillo y manteniendo la pieza en su montaje para el tratamiento adicional, el sistema de CAM puede aplicar una corrección a la trayectoria preferida de la herramienta, basándose en el programa de CAM existente.

25 Sin embargo, en ambos casos, la herramienta se mueve a lo largo de una trayectoria derivada de datos de geometría existentes o un programa de CAM existente, antes de tratar la superficie. La máquina de CNC según la técnica anterior no está dotada de una posibilidad de cambiar la dirección de movimiento de la herramienta sobre la superficie para conservar condiciones de trabajo óptimas, en particular, trabajar con ángulos óptimos y/o en direcciones óptimas, si se detectan diferencias entre la forma teórica y real de la superficie durante el tratamiento. Por tanto, en el caso de diferencias entre la forma teórica y real, por ejemplo provocadas por desgaste de una pieza durante etapas de producción anteriores, el procesamiento de la superficie se realiza, según la técnica anterior, a lo largo de una trayectoria predeterminada que está optimizada basándose en condiciones predeterminadas, pero que no está adaptada a la forma real de la superficie. En particular, el documento W02007/016919 no proporciona ninguna explicación adicional de qué se mide ni cómo se logra la medición. Además, el documento W02007/016919 no especifica de qué manera puede emplearse el procedimiento de medición adicional para obtener mejores resultados de tratamiento.

30 El documento US4967365 da a conocer un método y un aparato para el control adaptativo de la trayectoria de movimiento de una herramienta de trabajo durante un procedimiento de trabajo para proporcionar superficies curvadas con una forma geométrica requerida. En el documento US4967365, la herramienta de máquina trata la superficie según determinados parámetros de tratamiento. El documento US4967365 también comprende una unidad de sensor que produce señales estocásticas de ultrasonidos que se generan mediante el contacto la herramienta de trabajo con la pieza de trabajo. Basándose en el valor de respuesta de la unidad de sensor, el sistema de control adaptativo en el documento US4967365 corrige trayectorias o movimientos de la herramienta de trabajo y/o los parámetros de tratamiento que se han predeterminado para tratar la superficie.

35 En la técnica anterior no se da a conocer una manera de cambiar la dirección de movimiento sobre la superficie para seguir una trayectoria diferente que está mejor adaptada a la forma real de la superficie en reacción a una respuesta de la herramienta determinada durante el tratamiento de la superficie.

40 Además, determinar la forma real de la superficie basándose en valores de medición obtenidos mediante un dispositivo de rastreo adicional (tal como un láser) implica el peligro de introducir errores de medición introducidos por una desviación entre el punto en el que la herramienta trata la superficie, y el punto en el que se lleva a cabo la medición.

45 Por tanto, existe una necesidad de un método de mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie que proporcione un resultado optimizado para procesar la superficie.

El método según la reivindicación 1 resuelve este problema proporcionando un método según la reivindicación 1, una máquina de CNC según la reivindicación 10, un controlador de máquina de CNC según la reivindicación 12 y un producto de programa informático según la reivindicación 13.

5 En particular, la invención proporciona un método para mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie en el que la máquina de CNC está dotada de una unidad de sensor, que comprende las etapas de:

(a) mover la herramienta sobre la superficie en una dirección predeterminada y/o con una velocidad predeterminada y/o a lo largo de una trayectoria predeterminada,

(b) tratar la superficie mediante la herramienta,

10 (c) determinar, mediante la unidad de sensor, un valor de respuesta que indica una respuesta de la herramienta al tratamiento de la superficie y/o a presionarse contra la superficie,

(d) determinar una nueva dirección y/o una nueva velocidad y/o una nueva trayectoria basándose en el valor de respuesta.

15 Cambiar la trayectoria basándose en la forma real de la superficie tal como se determina durante el procesamiento puede proporcionar una manera de mover la herramienta sobre la superficie en la que se orienta con respecto a la superficie de una manera que está mejor adaptada para tratar la superficie en su forma real.

20 Además, determinar la forma real de la superficie basándose en valores de medición mediante una respuesta de la propia herramienta en lugar de una respuesta de un dispositivo de rastreo o medición adicional evita el peligro de errores de medición sistemáticos introducidos por una desviación entre el punto en el que la herramienta trata la superficie, y el punto en el que se lleva a cabo la medición. Por tanto, el método reivindicado proporciona la base para una medición más precisa de la superficie real.

La máquina de CNC puede ser un robot.

25 La etapa (b) puede llevarse a cabo según un valor predeterminado de un parámetro de tratamiento. El valor del parámetro de tratamiento puede describir de qué manera se ejecuta la etapa (b). De manera adicional o alternativa a la etapa (d), puede determinarse un nuevo valor para un parámetro de tratamiento. Puede haber más de un parámetro de tratamiento.

30 Este método incluye la característica de determinar una nueva dirección y/o una nueva trayectoria para mover la herramienta, basándose en la determinación de una respuesta al tratamiento de la superficie con la herramienta. Por tanto, el tratamiento de la superficie puede adaptarse a las condiciones de trabajo reales que se encuentra la herramienta. En el caso del tratamiento de la superficie con un ángulo no óptimo o en una dirección desfavorable (lo que puede reflejarse por respuestas inesperadas al tratamiento de la superficie), el método según la reivindicación 1 ofrece la posibilidad de cambiar la dirección de movimiento sobre la superficie y/o cambiar la trayectoria de la herramienta para obtener condiciones de tratamiento que están mejor adaptadas a la forma real de la superficie. En particular, la dirección de movimiento de la herramienta sobre la superficie puede cambiarse para mover la herramienta a lo largo de una trayectoria en la que la curvatura de la superficie real es menor que a lo largo de una trayectoria predeterminada. Por tanto, el método según la reivindicación 1 proporciona un resultado optimizado para el procesamiento de la superficie real de una pieza.

35 La etapa (a) y la etapa (b) pueden realizarse de manera simultánea. Alternativamente, la etapa (a) y la etapa (b) pueden realizarse a intervalos de tiempo diferentes. En particular, puede haber intervalos de tiempo en los que la herramienta se mueve sobre la superficie sin tratar la superficie, y otros intervalos de tiempo en los que se trata la superficie sin mover la herramienta sobre la superficie. Esos intervalos de tiempo pueden ser alternantes.

40 Las etapas (a) de mover la herramienta y (b) de tratar la superficie se adaptan con respecto a la superficie realizando la etapa de determinación (d). Los nuevos valores determinados en la etapa (d) pueden ser los valores predeterminados en la etapa (a) y/o en la etapa (b).

45 La etapa (a) puede realizarse al mismo tiempo que la etapa (b), o la etapa (a) puede realizarse de manera alternante con la etapa (b). Las etapas (a) y (b) pueden realizarse varias veces, en particular, más de una vez, antes de llevar a cabo las etapas (c) y (d).

50 El método puede llevarse a cabo varias veces seguidas. La nueva dirección y/o nueva velocidad y/o nueva trayectoria y/o nuevo valor para un parámetro de tratamiento de la etapa (d), que se han determinado mientras se llevaba a cabo el método una primera vez, pueden usarse como valores predeterminados cuando se lleva a cabo el método una segunda vez, en el que la segunda vez es posterior a la primera vez. Entre la primera vez y la segunda vez, el método puede llevarse a cabo una o más veces. Alternativamente, entre la segunda vez y la primera vez, las etapas (a) y/o (b) pueden llevarse a cabo varias veces.

De esta manera, las etapas (a) y/o (b) pueden adaptarse a la respuesta determinada de la superficie al tratamiento.

La herramienta puede ser cualquiera de las clases de herramienta que se usan en relación con máquinas de CNC. En particular, la herramienta puede ser un martillo, un taladro, una cortadora o una cepilladora. La operación de tratamiento de la superficie puede corresponder a la herramienta empleada. En particular, el tratamiento de la superficie puede ser tratamiento con martillo, pulido, alisado, suavizado, corte o perforación.

- 5 La nueva dirección, nueva velocidad y nueva trayectoria mencionadas en la etapa (d) pueden ser nuevas con respecto a la dirección predeterminada, velocidad predeterminada y trayectoria predeterminada a las que se hace referencia en la etapa (a). El nuevo valor para un parámetro de tratamiento en la etapa (d) puede ser nuevo con respecto al parámetro de tratamiento predeterminado al que se hace referencia en la etapa (b).

- 10 La etapa (d) puede basarse en reglas de tratamiento que especifican cómo determinar una nueva dirección y/o una nueva velocidad y/o una nueva trayectoria y/o un nuevo valor que especifican cómo tratar la superficie mediante la herramienta basándose en un valor de respuesta determinado en la etapa (c).

La etapa (d) puede basarse en un modelo de la superficie.

- 15 De manera alternativa o adicional, en la etapa (d), la dirección determinada y/o la velocidad determinada y/o la trayectoria determinada y/o el valor determinado del parámetro de tratamiento pueden determinarse basándose en un modelo de la superficie.

- 20 El modelo de la superficie puede comprender coordenadas de ubicaciones sobre la superficie, en particular, coordenadas tridimensionales. Para al menos una parte de la superficie, el modelo puede comprender datos de direcciones, de velocidades y/o de valores de un parámetro de tratamiento que están asociados con ubicaciones en al menos la parte de la superficie. El modelo de la superficie puede comprender una fórmula matemática y/o parámetros de una fórmula matemática que describen la totalidad o parte de la superficie. El modelo puede ser un modelo teórico y/o puede basarse en un modelo matemático. El modelo puede estar disponible antes de tratar la superficie.

- 25 El modelo puede comprender datos de trayectoria. Los datos de trayectoria pueden comprender coordenadas tridimensionales de las ubicaciones de una trayectoria de la herramienta. La trayectoria puede determinarse mediante consideraciones teóricas. El modelo puede comprender además datos que indican el orden de las ubicaciones a lo largo de la trayectoria. Puede almacenarse la totalidad o parte de la trayectoria de la herramienta.

Los datos de trayectoria pueden comprender velocidades en ubicaciones a lo largo de la trayectoria y/o valores de un parámetro de tratamiento en ubicaciones a lo largo de la trayectoria.

- 30 El modelo puede usarse para determinar, en la etapa (d), una dirección y/o una velocidad y/o una trayectoria y/o un valor para un parámetro de tratamiento que se aplica(n) tras haber llevado a cabo la secuencia de etapas (a) a (d) o de etapas (a) y (b) una o más veces después de la determinación.

Aplicar la dirección determinada y/o la velocidad y/o la trayectoria y/o el valor para un parámetro de tratamiento puede comprender usar la dirección y/o la velocidad y/o la trayectoria en la etapa (a) y/o usar el valor para el parámetro de tratamiento en la etapa (b).

- 35 El modelo puede basarse en datos de trayectoria.

Los datos de trayectoria pueden comprender coordenadas tridimensionales de ubicaciones a lo largo de una trayectoria de la herramienta. Los datos de trayectoria pueden comprender además datos de velocidades y/o de direcciones y/o de valores de un parámetro de tratamiento. Estos datos pueden corresponder a las coordenadas de ubicaciones a lo largo de una trayectoria.

- 40 Los datos de trayectoria pueden especificarse en un sistema de coordenadas en el que dos coordenadas, en particular, una coordenada x y una y, describen una ubicación sobre una placa de soporte de la máquina de CNC, y una tercera coordenada, en particular, una coordenada z, describe la distancia de una ubicación desde la placa de soporte de la máquina de CNC. En particular, el sistema de coordenadas puede ser ortogonal, de tal manera que una dirección x y una dirección y del sistema de coordenadas son perpendiculares entre sí y son ambas paralelas a una placa de soporte de la máquina de CNC, y un dirección z es perpendicular a la dirección x y a la dirección y.

- 45 Usar un modelo basado en datos de trayectoria evita el esfuerzo de proporcionar un modelo de la superficie antes de trabajar la misma. Además, usar un modelo de la superficie basado en datos de trayectoria tiene la ventaja de representar la superficie que va a tratarse de manera más exacta.

- 50 La etapa (d) puede no basarse en un modelo teórico y/o matemático de la superficie. De manera alternativa o adicional, el modelo puede basarse en datos de trayectoria. Los datos de trayectoria pueden referirse a ubicaciones en al menos una parte de la superficie. En particular, el modelo puede basarse en datos de trayectoria correspondientes a ubicaciones dentro de una distancia predeterminada desde la posición actual de la herramienta.

La máquina de CNC puede llevar a cabo la secuencia de etapas (a) a (d) varias veces de manera sucesiva. En la etapa (d), la determinación de una nueva dirección y/o una nueva velocidad y/o una nueva trayectoria y/o un nuevo

valor para un parámetro de tratamiento puede basarse en uno o más de los valores de respuesta que se han obtenido al llevar a cabo la secuencia de etapas (a) a (d).

5 En particular, la determinación de una nueva dirección y/o una nueva velocidad y/o una nueva trayectoria y/o un nuevo valor para un parámetro de tratamiento puede basarse en un valor de respuesta particular que se ha obtenido antes de llevar a cabo la secuencia de etapas (a) a (d) un número dado de veces directamente antes de la determinación.

Si la herramienta se ha movido hasta o más allá de un borde predeterminado, la herramienta puede desplazarse una distancia predeterminada y la nueva dirección puede determinarse como la inversa de la dirección anterior.

10 El borde puede ser un límite superior o inferior para coordenadas de ubicaciones sobre la superficie. El borde puede representarse mediante una línea, que puede describirse mediante una ecuación matemática. El borde puede representarse mediante limitaciones de un espacio descrito por una ecuación. El borde también puede representarse mediante un conjunto de ubicaciones en una línea o superficie que limita la región en la que puede moverse la herramienta.

15 Si la herramienta ha llegado a un borde predeterminado, entonces la nueva trayectoria puede ser paralela a la trayectoria que ha seguido la herramienta hasta llegar al borde, pero desplazada una distancia predeterminada. La herramienta puede moverse a lo largo de la nueva trayectoria en la dirección opuesta a la dirección en la que se ha movido la herramienta hasta alcanzar el borde.

20 La dirección de desplazamiento de la herramienta puede ser transversal con respecto a la dirección en la que la herramienta ha alcanzado el borde, o puede ser perpendicular con respecto a esa dirección, o puede estar en la dirección del borde.

La herramienta puede moverse entre al menos dos bordes predeterminados. En este caso, la herramienta puede moverse a lo largo de trayectorias paralelas entre los bordes, en la que las trayectorias paralelas están separadas mediante un desplazamiento aplicado a la herramienta cuando la herramienta ha alcanzado el borde.

25 La etapa (d) puede basarse en datos de trayectoria que se han determinado mientras se movía la herramienta, mediante la máquina de CNC, a lo largo de una primera trayectoria que puede estar próxima a la trayectoria actual de la herramienta, en particular, paralela a la trayectoria actual. De esta manera, la máquina de CNC que mueve la herramienta hasta una región particular puede tener una posibilidad de considerar parámetros que se habían seleccionado en condiciones en una ubicación que puede estar próxima a la región hacia la que se mueve la herramienta.

30 La etapa (c) puede comprender proporcionar, mediante la unidad de sensor, datos que indican una desviación de la herramienta y/o que indican una fuerza experimentada por la herramienta cuando se trata la superficie, en particular, experimentada en respuesta a un impacto de la herramienta contra la superficie.

La unidad de sensor puede comprender un sensor de distancia y/o un sensor de deformación y/o un sensor de desviación y/o un sensor de fuerza. Puede haber uno o más sensores empleados para llevar a cabo la invención.

35 En particular, puede disponerse una pluralidad de al menos tres sensores para detectar un efecto en tres direcciones diferentes, en particular, en los que los sensores están dispuestos en tres direcciones perpendiculares entre sí.

40 La etapa (c) puede comprender proporcionar, mediante la unidad de sensor, datos que indican desviaciones en una única dirección, y/o proporcionar datos que indican fuerzas en una única dirección. La etapa (c) puede comprender proporcionar, mediante la unidad de sensor, datos que indican desviaciones en al menos tres direcciones diferentes, en particular, en direcciones perpendiculares entre sí, y/o proporcionar datos que indican fuerzas en al menos tres direcciones diferentes, en particular, direcciones perpendiculares entre sí. La fuerza experimentada por la herramienta puede provocarse, al menos en parte, presionando la herramienta contra la superficie.

45 La fuerza experimentada por la herramienta puede ser una fuerza contrarrestante frente a una fuerza aplicada por la herramienta a la superficie. En particular, la fuerza experimentada por la herramienta puede ser una respuesta a un impacto de la herramienta contra la superficie.

Las desviaciones de la herramienta pueden determinarse con respecto a un sistema de coordenadas fijado a un componente de la máquina de CNC.

La etapa (c) puede comprender proporcionar, mediante la unidad de sensor, datos para determinar un valor de elasticidad de la superficie.

50 El valor de elasticidad puede ser el módulo de elasticidad (módulo de Young). El valor de elasticidad puede ser la constante de Hooke, o puede representar un módulo de compresibilidad o un módulo de cizalladura, tal como se encuentra, en particular, en la ley de Hooke para medios isotrópicos.

Un parámetro de tratamiento puede ser uno de una fuerza, una frecuencia o un retardo temporal del tratamiento que

va a realizarse mediante la herramienta, o una distancia entre la herramienta y la superficie.

5 La fuerza puede indicar la fuerza con la cual la herramienta presiona contra la superficie, o la componente normal de la fuerza con la cual la herramienta presiona contra la superficie. La fuerza puede ser la fuerza ejercida sobre la herramienta para permitirle tratar la superficie. La fuerza puede provocarse mediante un accionador que influye sobre la herramienta. De manera alternativa o adicional, la fuerza puede provocarse intentando mover la herramienta en una dirección hacia la superficie cuando la herramienta ya está en contacto con la superficie. La frecuencia puede ser una medida de cuántas veces entra en contacto la herramienta con la superficie en un intervalo de tiempo dado. El retardo temporal puede ser el intervalo de tiempo entre el momento en el que la herramienta comienza a moverse hacia la superficie y el momento en el que entra en contacto con la superficie. El retardo temporal también puede ser el intervalo de tiempo entre el contacto de las superficies dos veces seguidas por la herramienta. Puede haber más de un parámetro de tratamiento.

15 La herramienta puede portarse por un portaherramientas. El portaherramientas puede ser parte de la máquina de CNC. Puede ser posible insertar la herramienta en el portaherramientas. La herramienta puede comprender un componente de guiado que permite unir la herramienta al portaherramientas. El componente de guiado puede moverse junto con la herramienta cuando la herramienta trata la superficie. El componente de guiado puede estar fijado al portaherramientas o a otra parte de la máquina de CNC.

La etapa (a) puede comprender que, mientras se mueve la herramienta, la herramienta puede estar en contacto con la superficie.

20 Tratar la superficie puede comprender ejercer de manera continua una fuerza sobre la herramienta para presionar la herramienta contra la superficie. La fuerza puede ejercerse sobre la herramienta mediante un accionador. La fuerza ejercida sobre la herramienta puede provocarse mediante un accionador, y/o variando el vector de velocidad de la herramienta, es decir variando la velocidad y/o la dirección de movimiento de la herramienta sobre la superficie. La dirección de movimiento de la herramienta sobre la superficie puede variarse cambiando a una nueva trayectoria para mover la herramienta.

25 En particular, la herramienta puede estar en contacto continuo con la superficie.

La etapa (a) puede comprender que, mientras se mueve la herramienta, la herramienta puede no estar en contacto continuo con la superficie, en particular, la herramienta puede estar a una distancia fija desde la superficie.

En particular, la herramienta puede moverse sobre la superficie únicamente sin contacto con la superficie.

La herramienta puede estar rodeada por un cilindro. El cilindro puede tener contacto con la superficie.

30 El cilindro puede tener contacto continuo con la superficie. El cilindro puede garantizar que la herramienta y/o el accionador de la herramienta tienen una distancia fija con respecto a la superficie. El cilindro puede actuar como protección de la herramienta. El cilindro puede actuar como soporte para un accionador usado para tratar la superficie mediante la herramienta, y/o como soporte para la unidad de sensor.

35 La etapa (c) puede comprender proporcionar, mediante la unidad de sensor, datos que indican una distancia entre la herramienta y la superficie, en particular, el intervalo de tiempo entre un momento en el que comienza a acelerarse la herramienta hacia la superficie y un momento en el que la herramienta entra en contacto con la superficie. Datos que indican la distancia entre la herramienta y la superficie pueden determinarse incluso en momentos en los que la herramienta puede tener contacto con la superficie, y/o en el caso en el que la herramienta puede estar rodeada por el cilindro anteriormente mencionado.

40 La fuerza para tratar la superficie mediante la herramienta puede ejercerse sobre la herramienta mediante un accionador. El accionador puede ser uno de un dispositivo mecánico oscilante, un oscilador de ultrasonidos, un dispositivo accionado por un campo oscilante, un dispositivo que comprende un accionador magnético, o cualquier otro sistema que puede transferir una vibración o un impacto sobre la superficie. El accionador puede estar comprendido en la máquina de CNC. El accionador puede controlarse mediante una señal sinusoidal.

45 La etapa (d) puede comprender mantener la fuerza que puede aplicarse a la superficie mediante la herramienta constante y/o dentro de un intervalo de tolerancia predeterminado.

La fuerza aplicada a la superficie mediante la herramienta también puede comprender una componente que puede provocarse mediante el movimiento de la herramienta sobre la superficie en una dirección que tiene una componente en la dirección en la que se acciona la herramienta mediante el accionador.

50 Para mantener la fuerza aplicada a la superficie constante o dentro de un intervalo de tolerancia predeterminado, la fuerza ejercida sobre la herramienta mediante el accionador y una componente de fuerza provocada presionando la herramienta contra la superficie mediante su movimiento en una dirección que puede no ser perpendicular a la fuerza ejercida por la herramienta en respuesta a accionarse mediante un accionador puede adaptarse de tal manera que su suma permanece constante y/o dentro del intervalo de tolerancia predeterminado.

La fuerza que puede aplicarse a la superficie mediante la herramienta puede comprender una componente que puede ejercerse sobre la herramienta mediante un accionador. La fuerza aplicada a la superficie mediante la herramienta también puede comprender una componente que puede provocarse presionando la herramienta contra la superficie mediante la máquina de CNC.

- 5 La fuerza que puede mantenerse constante y/o en un intervalo de tolerancia predeterminado puede tener una dirección perpendicular a un plano tangencial de la superficie en un punto en el que la herramienta entra en contacto con la superficie.

El tratamiento de la superficie puede comprender tratar con martillo la superficie.

- 10 En este caso, la herramienta puede ser un martillo. El martillo puede usarse para realizar la microforja de la superficie. El martillo puede portarse por un portaherramientas. El portaherramientas puede ser parte de la máquina de CNC. Puede ser posible insertar el martillo en el portaherramientas. El martillo puede comprender un componente de guiado que permite unir el martillo al portaherramientas. El componente de guiado puede soportar el movimiento del martillo en el portaherramientas. El componente de guiado puede moverse junto con la herramienta de martillo cuando el martillo trata la superficie. La herramienta de guiado puede estar fijada al portaherramientas o a otra parte de la máquina de CNC.

- 15 Los parámetros de tratamiento para una herramienta de martillo pueden ser una fuerza, una frecuencia y/o un retardo temporal. El parámetro de fuerza puede indicar la fuerza con la cual el martillo golpea la superficie, o la componente normal de la fuerza con la cual el martillo golpea la superficie. El parámetro de fuerza también puede ser la fuerza experimentada por el martillo en respuesta a golpear la superficie. El parámetro de frecuencia puede ser una medida de cuántas veces golpea el martillo la superficie en un intervalo de tiempo dado. El parámetro de retardo temporal puede ser el intervalo de tiempo entre el momento en el que el martillo comienza a moverse hacia la superficie y el momento en el que entra en contacto con la superficie. El parámetro de retardo temporal también puede ser el intervalo de tiempo entre el contacto de la superficies dos veces seguidas por el martillo.

- 20 La unidad de sensor puede proporcionar un momento en el que el martillo comienza a moverse hacia la superficie, y un momento en el que el martillo entra en contacto con la superficie.

- 25 Puede ejercerse una fuerza por el martillo a la superficie con un golpe del martillo. La fuerza con la que se acciona el martillo mediante el accionador para realizar un golpe puede ser un parámetro de tratamiento. Los parámetros de tratamiento pueden determinarse de tal manera que, en el golpe de un martillo, la magnitud de la componente de la fuerza ejercida sobre la superficie por el martillo en la dirección del martillo de golpeo permanece dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, permanece constante, para una pluralidad de golpes de martillo, en particular, de golpes de martillo sucesivos.

- 30 Alternativamente, los parámetros de tratamiento pueden determinarse de tal manera que, en el golpe de un martillo, la magnitud de la componente de fuerza perpendicular a la superficie en puntos en los que los golpes de martillo permanece dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, permanece constante para una pluralidad de golpes de martillo, en particular, de golpes de martillo sucesivos.

- 35 El intervalo de tiempo en el que la magnitud de la componente de fuerza en la dirección del martillo que golpea o de la componente de fuerza perpendicular a la superficie en puntos en los que golpea el martillo permanece dentro de un intervalo de tolerancia puede ser mayor que el intervalo de tiempo entre dos golpes de martillo sucesivos, en particular, 10000 veces, 1000000 veces o 1000000000 veces mayor.

- 40 Puede ejercerse una fuerza por el martillo a la superficie mientras el martillo no realiza un golpe. La fuerza con la que se acciona el martillo entre dos golpes de martillo mediante el accionador puede ser un parámetro de tratamiento. Los parámetros de tratamiento pueden determinarse de tal manera que, entre dos golpes de martillo sucesivos, la magnitud de la componente de la fuerza ejercida sobre la superficie por el martillo en la dirección del martillo que golpea permanece dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, permanece constante.

- 45 Alternativamente, los parámetros de tratamiento pueden determinarse de tal manera que, entre dos golpes de martillo sucesivos, la magnitud de la componente de la fuerza ejercida sobre la superficie por el martillo en la dirección perpendicular a la superficie en la ubicación en la que el martillo está en contacto con la superficie permanece dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, permanece constante.

- 50 La determinación de parámetros de tratamiento apropiados puede lograrse seleccionando la dirección y velocidad de movimiento del martillo sobre la superficie así como seleccionando la fuerza con la cual el martillo golpea de tal manera que la suma de todas las fuerzas aplicadas a la superficie en un momento en el que el martillo golpea permanece dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, permanece a un valor constante.

La adaptación de la fuerza con la cual el martillo golpea contra la superficie puede basarse en información obtenida en un golpe de martillo anterior, en particular, en el golpe de martillo directamente anterior.

- 55 La etapa (b) puede comprender hacer pivotar la herramienta mediante la máquina de CNC.

En este caso, el parámetro de tratamiento puede ser un ángulo, en particular, un ángulo mediante el cual puede hacerse pivotar la herramienta.

La invención proporciona además una máquina de CNC, que está configurada para mover una herramienta de una máquina de CNC sobre una superficie, que comprende:

5 una unidad de movimiento configurada para mover la herramienta en una dirección predeterminada y/o con una velocidad predeterminada y/o a lo largo de una trayectoria predeterminada,

una unidad de tratamiento configurada para tratar la superficie mediante la herramienta según un valor predeterminado de un parámetro de tratamiento,

10 una unidad de sensor configurada para determinar un valor de respuesta que indica una respuesta de la herramienta al tratamiento de la superficie y/o para presionarse contra la superficie,

una unidad de decisión configurada para determinar una nueva dirección y/o una nueva velocidad y/o una nueva trayectoria y/o un nuevo valor para el parámetro de tratamiento basándose en el valor de respuesta.

La máquina de CNC puede ser un robot.

15 Además, la invención proporciona un controlador de máquina de CNC, configurado para llevar a cabo los métodos anteriormente mencionados.

El controlador de máquina de CNC puede ser el controlador de un robot.

La invención también proporciona un producto de programa informático, que comprende uno o más medios legibles por una máquina de CNC, que portan instrucciones en los mismos para realizar las etapas de los métodos anteriormente mencionados cuando se ejecutan por la máquina de CNC.

20 Los medios pueden ser legibles por un robot, que portan instrucciones en los mismos para realizar las etapas de los métodos anteriormente mencionados cuando se ejecutan por el robot.

A continuación se describirán aspectos adicionales de la invención con referencia a las figuras adjuntas.

La figura 1 ilustra una realización a modo de ejemplo de una máquina de CNC según la invención de una manera esquemática.

25 La figura 2 ilustra de manera esquemática una realización a modo de ejemplo de una unidad de mecanizado según la invención.

La figura 3 ilustra una disposición de sensores a modo de ejemplo en una unidad de sensor según la invención de una manera esquemática.

30 La figura 4 ilustra de manera esquemática, a modo de ejemplo, la variación de la fuerza ejercida sobre la superficie mediante la herramienta con dirección variable del movimiento de la herramienta.

La figura 5 ilustra de manera esquemática un ejemplo en el que la fuerza contrarrestante experimentada por una herramienta de martillo no se dirige en la dirección de un golpe de tratamiento con martillo.

La figura 6 ilustra de manera esquemática, a modo de ejemplo, un método de controlar el impacto de un martillo sobre una superficie midiendo el intervalo de tiempo según la invención.

35 La figura 7 ilustra una realización a modo de ejemplo de la invención en la que la distancia entre un accionador con una herramienta y la superficie que va a tratarse se mantiene a un mínimo mediante un cilindro insertado entre las mismas.

40 A continuación se describen realizaciones a modo de ejemplo de la invención. En particular, se describe que la herramienta que se mueve mediante una máquina de CNC es un martillo en algunas realizaciones. Sin embargo, la invención no se limita a aplicarse a que la herramienta sea un martillo, ni tampoco se limita la invención a los ejemplos descritos.

La figura 1 ilustra una realización de una máquina de CNC según la invención. El cuerpo 110 de la máquina de CNC comprende una plataforma 115 en la que se monta una pieza 140 que va a tratarse. La máquina de CNC se usa para trabajar la superficie 150 de la pieza 140.

45 La máquina de CNC también comprende una unidad de mecanizado 120. La unidad de mecanizado comprende una unidad de sensor de la máquina de CNC. La unidad de mecanizado también comprende una unidad de accionador que porta la herramienta 130 que entra realmente en contacto con la superficie 115 de la pieza 140 y realiza trabajo de la superficie 115. La unidad de accionador puede incluir un portaherramientas para portar la herramienta 130.

La máquina de CNC mueve la unidad de mecanizado junto con la herramienta sobre la superficie de la pieza, mientras que la herramienta trata la superficie. En una realización particular, la herramienta es un martillo, y la máquina de CNC mueve el martillo arriba y abajo para realizar el tratamiento con martillo sobre la superficie.

5 Para permitir que la máquina de CNC realice su tarea, la máquina de CNC ejecuta un programa de control de CNC 160. El programa de control permite que la máquina de CNC mueva la unidad de mecanizado que porta la herramienta sobre la superficie. El programa de control de CNC puede usar una descripción matemática de la superficie para determinar la manera de mover la herramienta. La descripción matemática de la superficie puede haberse determinado basándose en la forma prevista de la pieza que va a tratarse y puede haberse cargado en una memoria de la máquina de CNC antes de realizar realmente el trabajo de la pieza. La máquina de CNC también
10 puede usar un modelo de la superficie para determinar la manera de mover la herramienta, en la que el modelo puede construirse por la máquina de CNC basándose en datos obtenidos por la máquina de CNC mientras se mueve la herramienta sobre la superficie.

15 En una realización de la invención, la máquina de CNC también comprende un control de unidad de sensor 170. El control de unidad de sensor recibe datos de sensores comprendidos en una unidad de sensor, que es parte de la unidad de mecanizado 120. La unidad de sensor puede comprender sensores para medir fuerzas así como para medir desviaciones. La unidad de sensor también puede comprender sensores para medir distancias. De esta manera, la unidad de sensor puede proporcionar, usando sus sensores, información sobre la posición y orientación de la herramienta 130, por ejemplo, un martillo, con respecto a la superficie de la pieza. Además, la unidad de sensor también puede proporcionar información sobre las fuerzas que actúan sobre la herramienta 130. Si la
20 herramienta es un martillo, los sensores en la unidad de sensor pueden proporcionar valores de medición que comprenden información sobre la fuerza de empuje hacia abajo del martillo sobre la superficie, así como sobre la fuerza de reacción experimentada por el martillo en respuesta al golpeo contra la superficie.

25 El control de unidad de sensor 170 de la máquina de CNC recibe datos basados en las mediciones de los sensores en la unidad de sensor. El control de unidad de sensor 170 también puede recibir información sobre el momento en el que un sensor ha adquirido datos. De esta manera, el control de unidad de sensor 170 puede derivar información sobre la fuerza ejercida por la máquina de CNC en la pieza 140 (es decir la "fuerza de mecanizado") en una ubicación dada. En particular, la unidad de sensor en la unidad de mecanizado 120 puede comprender sensores para medir fuerzas ejercidas en direcciones diferentes, en particular, en al menos tres direcciones diferentes. La unidad de sensor en la unidad de mecanizado 120 también puede comprender sensores para medir desviaciones en direcciones diferentes, en particular, en al menos tres direcciones diferentes. Basándose en la información proporcionada mediante la unidad de sensor, puede permitirse a la unidad de control de sensor 170 reconstruir la orientación de la superficie, es decir derivar un vector tridimensional normal a la superficie, en un punto en el que la herramienta 130 entra en contacto con la superficie.

35 La herramienta 130 unida a la unidad de mecanizado 120 puede moverse mediante un accionador que es parte de la unidad de mecanizado. En particular, el accionador puede ejercer una fuerza sobre la herramienta para presionarla hacia abajo sobre la superficie. El accionador puede controlarse mediante el control de accionador 180 comprendido en la máquina de CNC. El control de accionador 180 puede emplearse por la máquina de CNC para controlar la fuerza que se ejerce sobre un punto dado de la superficie por medio de la herramienta 130 portada por un portaherramientas en la unidad de mecanizado. En el caso en el que la herramienta 130 es un martillo, el control de accionador puede determinar la velocidad y/o la fuerza con la que el martillo golpea sobre la superficie 150.

40 Dado que la máquina de CNC comprende el control de CNC 160 así como el control de unidad de sensor 170 y el control de accionador 180, la máquina de CNC puede controlar la dirección y velocidad del movimiento de la herramienta 130 basándose en información proporcionada por la unidad de control de sensor 170, en particular, información referente a la orientación y/o la fuerza mediante la cual se trata la superficie. Basándose en esta información, la máquina de CNC puede adaptar el efecto de la herramienta 130 controlando la herramienta 130 por medio del control de accionador 180.

El sistema que comprende la máquina de CNC, la unidad de mecanizado 120 y la herramienta 130 puede calibrarse de tal manera que hay una relación conocida entre los valores proporcionados por la unidad de sensor, la posición de la herramienta 130 y las fuerzas aplicadas a la herramienta 130.

50 La figura 2 ilustra una realización de una unidad de mecanizado 120 que comprende un martillo usado en lugar de la herramienta 130 en la figura 1. Al cuerpo 110 de la máquina de CNC está unida su unidad de mecanizado 120, que comprende una unidad de sensor 220 y una unidad de accionador 230. En el documento WO 88/05524 se describe una unidad de sensor 220 a modo de ejemplo.

55 La unidad de accionador 230 puede ser una de un dispositivo mecánico oscilante, un oscilador de ultrasonidos, un dispositivo accionado por un campo oscilante, un dispositivo que comprende un accionador magnético, o cualquier otro sistema que puede transferir una vibración o un impacto sobre la superficie.

Un martillo 240 está unido a la unidad de accionador 230. La unidad de accionador 230 puede comprender un portaherramientas para portar el martillo. Además, el martillo puede comprender un componente de guiado que

permite insertarlo en el portaherramientas o la unidad de accionador. Por debajo del martillo está la superficie 150 de la pieza 140 que va a tratarse.

5 Durante el funcionamiento de la máquina de CNC, el martillo puede moverse con contacto continuo con la superficie, tal como se ilustra mediante la figura 2a, o el martillo 240 puede levantarse por encima de la superficie y puede golpear hacia abajo contra la superficie ocasionalmente, estando por tanto en contacto con la superficie tan sólo parte del tiempo mientras el martillo 240 trata la superficie, tal como se ilustra mediante la figura 2b.

10 La unidad de sensor a modo de ejemplo de esta realización comprende al menos un sensor de desviación 250. El al menos un sensor de desviación 250 está configurado para medir desviaciones del martillo 240 con respecto al cuerpo 110 de la máquina de CNC. Las desviaciones pueden medirse entre la punta del martillo 240 y el reborde superior de la unidad de mecanizado 120 en la que está conectado de manera rígida al cuerpo 110 de la máquina de CNC, o con respecto a otro punto del cuerpo 110 de la máquina de CNC o de la parte de la unidad de sensor 220 que está conectada de manera rígida al cuerpo 110. El al menos un sensor de desviación 250, tras detectar una desviación, emite una señal correspondiente que se envía, preferiblemente en una forma procesada, a la unidad de control de sensor 170. El al menos un sensor de desviación 250 puede ser un sensor de distancia y/o deformación. El sensor de desviación puede basarse en resortes, en particular, en resortes de láminas y/o en amortiguadores.

20 La unidad de sensor a modo de ejemplo de esta realización también comprende al menos un sensor de fuerza 260. El sensor de fuerza 260 está configurado para ser sensible a fuerzas entre la parte de la unidad de sensor 220 que está conectada al accionador 230, y la parte de la unidad de sensor 220 que está conectada al cuerpo 110 de la máquina de CNC. El sensor de fuerza 260, tras detectar una fuerza, emite una señal correspondiente que se envía, preferiblemente en una forma procesada, a la unidad de control de sensor 170. El al menos un sensor de fuerza puede basarse en determinar deformaciones y/o el cambio de distancias, en particular usando resortes y amortiguadores.

25 La figura 3 ilustra un ejemplo de una realización con una disposición de sensores que pueden detectar la magnitud de desviaciones de un objeto de ensayo 310 así como fuerzas ejercidas sobre el objeto de ensayo. Una disposición de sensores de este tipo puede estar comprendida en la unidad de sensor 220. El objeto de ensayo 310 puede ser un componente del accionador 230 o de la herramienta 130.

30 En la disposición a modo de ejemplo de la figura 3, tres sensores de desviación 320, 340 y 360 están unidos al objeto de ensayo 310. Los sensores están dispuestos de tal manera que una desviación del objeto de ensayo y/o de parte del objeto de ensayo puede detectarse en tres direcciones que son perpendiculares entre sí, es decir en tres direcciones cartesianas. Si el objeto de ensayo se desvía en cualquier dirección, por ejemplo, se dobla o se desplaza, entonces las componentes de la desviación proyectada sobre cada una de las tres direcciones correspondientes a la orientación de los sensores de desviación se detectan mediante el sensor respectivo.

35 En la realización de la figura 3, tres sensores de fuerza 330, 350 y 370 también están unidos al objeto de ensayo 310. Los sensores de fuerza están dispuestos de tal manera que puede detectarse el vector de cualquier fuerza aplicada al objeto de ensayo 310. En particular, los sensores de fuerza pueden disponerse en tres direcciones que son perpendiculares entre sí, es decir en tres direcciones cartesianas.

40 En otra realización, se emplean tres sensores de distancia para detectar desviaciones del objeto de ensayo con respecto a su posición teórica. Los sensores de distancia pueden disponerse de tal manera que puede detectarse la distancia entre el objeto de ensayo y cada uno de los sensores, en los que cada uno de los tres sensores detecta la distancia entre el objeto de ensayo y el sensor a lo largo de una dirección diferente y las tres direcciones a lo largo de las cuales se mide la distancia son linealmente independientes. En particular, los tres sensores pueden colocarse sobre una base de soporte en posiciones que están mutuamente desviadas 120 grados unas con respecto a otras. Una disposición de sensores de este tipo y su uso se ilustran en más detalla en el documento WO 2004/033147.

45 Si se aplica una fuerza al objeto de ensayo en cualquier dirección, entonces las componentes de la fuerza aplicada proyectadas sobre cada una de las tres direcciones de los sensores de fuerza se detectan mediante el sensor de fuerza respectivo.

Los sensores de fuerza así como los sensores de desviación pueden comprender sensores de distancia y/o de deformación. Los sensores de fuerza así como los de desviación pueden basarse en determinar el comportamiento de resortes y/o amortiguadores.

50 El sistema que comprende el control de unidad de sensor 170, la unidad de mecanizado 120 y la herramienta 130 puede calibrarse de tal manera que se conoce la relación entre los efectos detectados por los sensores en la unidad de sensor 220 y la posición de la herramienta 130 así como la fuerza experimentada por la herramienta.

55 En la realización descrita a continuación con respecto a la figura 4, la herramienta 130 se mueve en contacto continuo con la superficie 150. En esta realización, la herramienta se mueve sobre la superficie mientras se ejerce sobre la superficie una fuerza de base constante D_0 420 normal a la superficie 150.

La fuerza de base D_0 420 puede provocarse presionando la herramienta sobre la superficie por medio del accionador

(por ejemplo, si la herramienta es un martillo, haciendo que el accionador haga golpear el martillo hacia abajo) y/o moviendo la unidad de mecanizado 120 más cerca de la superficie. Al mover la unidad de mecanizado 120, que incluye la unidad de sensor 220, más cerca de la superficie, la fuerza ejercida por la herramienta 130 contra la superficie 150 puede aumentar debido a fuerzas elásticas ejercidas por resortes en la unidad de mecanizado 120, en particular, en la unidad de sensor 220. Los resortes pueden ser galgas extensiométricas, comprendidas en al menos una parte de los sensores.

La herramienta 130 puede moverse con un vector de velocidad de movimiento V_a 410, que se ilustra en la figura 4a. Como resultado de la dirección de movimiento de la herramienta con la velocidad V_a 410, que no está dirigida en una dirección tangencial a la superficie 150 en el punto en el que la herramienta entra en contacto con la superficie, el vector de fuerza de base D_o 420 puede ejercerse mediante la herramienta sobre la superficie en una dirección perpendicular a la superficie, es decir perpendicular al plano tangencial de la superficie en el punto en el que la herramienta entra en contacto con la superficie.

Si la herramienta se mueve hacia delante mientras la superficie está inclinada, se alcanzará la situación ilustrada mediante la figura 4b. En este caso, el vector de velocidad de movimiento V_a 410 tiene un ángulo con respecto a la dirección tangencial a la superficie que es diferente del de la figura 4a. Por tanto, el vector de velocidad de movimiento V_a 410 tiene una componente diferente en la dirección perpendicular a la superficie en el punto en el que la herramienta entra en contacto con la superficie. Esta componente diferente puede tener el efecto de que la herramienta 430 se presiona contra la superficie con una componente de fuerza adicional D_e 440 normal a la superficie, es decir puede añadirse una fuerza de error de desviación D_e 440 a la fuerza de base D_o 420 moviendo la herramienta sobre la superficie en una dirección particular.

Por tanto, para mantener la fuerza de base al nivel deseado, puede tener que cambiarse el vector de velocidad de movimiento V_a 410 mediante un vector de corrección V_c 450 para dar como resultado un nuevo vector de velocidad de movimiento V_b 460, que puede determinarse de tal manera que la fuerza de error de desviación D_e desaparece. Aplicando de manera repetida un vector de corrección apropiado V_c al vector de velocidad de movimiento respectivo V_a , la herramienta puede moverse sobre una superficie con una variedad de zonas de inclinación y en declive, mientras que la fuerza ejercida por la herramienta perpendicular a la superficie permanece a la magnitud deseada D_o de la fuerza de base.

En una realización de la invención, puede almacenarse un modelo que describe la superficie que va a tratarse en la máquina de CNC. El modelo puede ser un modelo teórico basado en consideraciones matemáticas. Basándose en el modelo, puede predeterminarse una trayectoria para mover una herramienta sobre la superficie antes de trabajar realmente sobre la superficie. De manera alternativa o adicional, el modelo puede basarse en datos obtenidos a partir de la unidad de sensor mientras se mueve la herramienta sobre la superficie.

En realizaciones particulares, la herramienta puede ser un martillo. El movimiento del martillo puede basarse en una trayectoria predeterminada. La unidad de sensor 120 puede tener la capacidad de detectar la fuerza contrarrestante experimentada por el martillo en la dirección de los golpes de martillo. Se envían señales correspondientes desde la unidad de sensor 120 hasta el control de unidad de sensor 170. A partir de esta información, la máquina de CNC puede determinar la magnitud de la fuerza ejercida en la dirección de los golpes de martillo. En particular, la máquina de CNC puede determinar si la fuerza ejercida en la dirección de los golpes de martillo entre los golpes de martillo es, dentro de un límite de tolerancia, tan alta como una fuerza de base deseada. Para cambiar la fuerza en la dirección de los golpes de martillo, la máquina de CNC puede cambiar la cantidad de la velocidad y/o la dirección de movimiento del martillo de tal manera que se alcanza la magnitud deseada de la fuerza de base dentro de un intervalo de tolerancia dado. Esto puede lograrse adaptando la cantidad y/o dirección de la velocidad de accionamiento para deshacerse de una fuerza de error de desviación tal como se describió anteriormente. Haciendo esto, la máquina de CNC puede desviarse de la trayectoria predeterminada para garantizar que se ejerce una fuerza de base dentro de un intervalo de tolerancia, en particular, una fuerza de base constante mediante el martillo sobre la superficie entre dos golpes de martillo. De la misma manera, puede garantizarse que la fuerza con la que el martillo golpea contra la superficie permanece a un nivel de fuerza deseado para todos los golpes de martillo durante el tratamiento de la superficie.

Si la dirección de movimiento del martillo sobre la superficie no es perpendicular a la dirección de los golpes de martillo, entonces la fuerza ejercida para mover el martillo sobre la superficie tiene una componente en la dirección de los golpes de martillo. Por consiguiente, la fuerza de los golpes de martillo puede adaptarse de tal manera que la magnitud de una suma de fuerzas que es la suma de la fuerza con la que se acciona el martillo y la componente de fuerza, dirigida en la dirección del golpe de martillo, que se provoca moviendo el martillo sobre la superficie, puede mantenerse dentro de un límite de tolerancia predefinido al trabajar la pieza.

Para lograr esto, la fuerza con la que se acciona el martillo, en particular, mediante un accionador, y/o la velocidad de movimiento y/o la dirección de movimiento del martillo sobre la superficie puede determinarse de tal manera que la magnitud de la suma de fuerzas se mantiene dentro de un intervalo de tolerancia predefinido.

Alternativamente, la fuerza con la que se acciona el martillo, en particular, mediante un accionador, y/o la velocidad de movimiento y/o la dirección de movimiento del martillo sobre la superficie puede determinarse de tal manera que

la magnitud de la suma de fuerzas se mantiene dentro de un intervalo de tolerancia predefinido. Alternativamente, la componente de la suma de fuerzas que es perpendicular a la superficie en el punto en el que el martillo está en contacto con la superficie puede mantenerse dentro de un intervalo de tolerancia predefinido.

5 De esta manera, puede garantizarse que, en el momento en el que el martillo golpea contra la superficie, la fuerza ejercida sobre la superficie en la dirección del golpe de martillo se mantiene dentro de un intervalo de tolerancia dado, o la componente de fuerza ejercida sobre la superficie en una dirección perpendicular a la superficie en el punto en el que impacta el golpe se mantiene dentro de un intervalo de tolerancia dado.

10 El documento WO 2007/060284 da a conocer un dispositivo de conformación con una herramienta que está dispuesta para dirigir un efecto de impacto de tratamiento con martillo de frecuencia esencialmente de ultrasonidos a la superficie de una pieza de trabajo. En "Michael Schneeweiß: "Entwicklung zur ultraschallunterstützten Bearbeitung - Zwei neue Projekte am IfP"" se comentan herramientas de accionamiento mediante sonidos ultrasónicos. Además, el documento DE 102 43 415 A 1 da a conocer un método para generar esfuerzo de compresión interno en la superficie de una pieza, en el que se usa un dispositivo similar al comentado por Schneeweiß que realiza el impacto contra una superficie de una pieza con una frecuencia de ultrasonidos.

15 En otra realización, la unidad de sensor 220 tiene la capacidad de detectar las fuerzas contrarrestantes y desviaciones experimentadas por el martillo en tres direcciones perpendiculares entre sí. Se envían señales correspondientes desde la unidad de sensor 220 hasta la unidad de control de sensor 170. A partir de esta información, la máquina de CNC determina el ángulo entre la dirección de un golpe de martillo y la superficie 150 de la pieza 140 que va a tratarse. Basándose en este ángulo, la fuerza del golpe de martillo se ajusta de tal manera que
20 la componente de esa fuerza que es perpendicular a la superficie se mantiene constante dentro de un límite de tolerancia predeterminado. Ajustar la fuerza del golpe de martillo puede incluir adaptar la fuerza con la que se empuja el martillo hacia abajo mediante el accionador y/o la velocidad de movimiento del martillo y/o la dirección de movimiento del martillo sobre la superficie.

25 De manera alternativa o adicional, el vector de fuerza del golpe de martillo puede ajustarse haciendo pivotar el martillo. Hacer pivotar el martillo puede incluir hacer pivotar un accionador que acciona el martillo. Entonces, la dirección del golpe de martillo puede cambiarse a una nueva dirección en la que el martillo se guía mediante un accionador. En particular, el martillo puede hacerse pivotar de tal manera que puede realizarse un golpe de martillo en una dirección que se espera que sea perpendicular a la superficie de una pieza que va a tratarse con un golpe de martillo particular, en particular, en el siguiente golpe de martillo que va a realizarse. Un ángulo mediante el cual se
30 hace pivotar el martillo puede basarse en el ángulo anteriormente mencionado determinado por la máquina de CNC entre la dirección de un golpe de martillo y la superficie de la pieza que se trata.

La dirección de movimiento puede basarse en una trayectoria predeterminada que puede basarse en un modelo matemático de la superficie 150 de la pieza 140 que va a tratarse. Para ajustar la fuerza del golpe de martillo, en particular, adaptando la dirección de velocidad de movimiento con ese fin, la trayectoria del martillo puede desviarse
35 de la trayectoria predeterminada.

La velocidad y/o dirección de movimiento de la herramienta sobre la superficie y/o el valor del parámetro de tratamiento de la herramienta, en particular, la fuerza con la que se empuja una herramienta de martillo hacia abajo, en ubicaciones a lo largo de la trayectoria de la herramienta puede almacenarse, junto con las coordenadas de ubicaciones de la herramienta a lo largo de la trayectoria.

40 En realizaciones particulares, la máquina de CNC puede tener acceso a un modelo de la superficie. El modelo de la superficie puede ser una descripción de la forma de la superficie. La descripción puede basarse en expresiones matemáticas y/o en valores almacenados. En particular, el modelo puede basarse en la totalidad o parte de los valores anteriormente mencionados almacenados junto con coordenadas de ubicaciones de la herramienta a lo largo de una trayectoria. El modelo puede estar predeterminado, o puede derivarse de una medición llevada a cabo
45 mientras se mueve la herramienta sobre la superficie.

Si la máquina de CNC tiene acceso a un modelo de la superficie, una vez llevada a cabo la etapa (d), la máquina de CNC puede determinar ubicaciones futuras previstas de la herramienta, basándose en la nueva dirección y/o nueva velocidad y/o nueva trayectoria determinadas empleando el modelo.

50 Basándose en el modelo, la máquina de CNC puede determinar parámetros de tratamiento previstos correspondientes a ubicaciones futuras previstas. De esta manera, la máquina de CNC puede determinar parámetros de tratamiento correspondientes a ubicaciones sobre la superficie en las que se espera que se ubique la herramienta en el futuro.

Por tanto, la máquina de CNC puede realizar una funcionalidad de anticipación.

55 En particular, una máquina de CNC puede determinar valores para parámetros de tratamiento que se prevé aplicar después de que la máquina de CNC lleve a cabo el método según la invención varias veces más, en particular, más de una vez más. La determinación de valores para parámetros de tratamiento puede basarse en un modelo de la superficie y/o en reglas para tratar la superficie que están disponibles para el controlador 160 de la máquina de CNC

110.

Las reglas para tratar la superficie pueden comprender cambiar un signo si la inclinación de la superficie ha cambiado. Otra regla de tratamiento puede comprender reducir una fuerza del tratamiento cerca de una esquina y/o un reborde.

- 5 La máquina de CNC puede proporcionar una estimación de la velocidad y/o dirección de movimiento y/o el valor del parámetro de tratamiento que va a elegirse en una ubicación prevista futura.

La máquina de CNC puede proporcionar, en particular, una estimación de direcciones de movimiento que van a elegirse en ubicaciones futuras de la herramienta. Además, la máquina de CNC puede proporcionar, en particular, una estimación de la desviación con respecto a una trayectoria predeterminada, en particular, con respecto a una trayectoria predeterminada que puede basarse en un modelo predeterminado.

Esta funcionalidad de anticipación puede ser particularmente útil en la proximidad de cambios de geometría, es decir en la proximidad de cambios de ángulos entre el martillo y la superficie, en particular, cerca de esquinas pronunciadas. En la proximidad de cambios de geometría, puede ser particularmente útil disponer de una estimación para la ubicación a la que se espera que se mueva la herramienta, ya que una pequeña desviación de la herramienta con respecto a un punto predeterminado puede dar como resultado grandes variaciones en la dirección y velocidad de movimiento así como con respecto a parámetros de tratamiento según los cuales la herramienta tiene que tratar la superficie en tales ubicaciones.

En otra realización, la unidad de sensor tiene la capacidad de detectar las fuerzas contrarrestantes y desviaciones experimentadas por la herramienta en tres direcciones perpendiculares entre sí. La herramienta también puede moverse en al menos tres direcciones perpendiculares entre sí. La máquina de CNC inicialmente no tiene ninguna información sobre la geometría de la superficie que va a tratarse. Sin embargo, puede facilitarse una dirección inicial de movimiento así como un borde cerrado alrededor de una posición inicial de la herramienta, en el que el borde limita la zona en la que puede moverse la herramienta. El borde puede describirse mediante una ecuación matemática, o puede facilitarse mediante límites para coordenadas de la herramienta. Si la herramienta se mueve hasta el borde, entonces puede invertirse la dirección de movimiento del martillo y el martillo puede desplazarse de tal manera que la herramienta, cuando se mueve alejándose del borde, sigue una trayectoria que puede ser paralela a, y a una distancia definida de, la trayectoria en la que se había movido la herramienta hacia el borde. El desplazamiento de la herramienta puede realizarse en la dirección al borde, o perpendicular al borde. Siguiendo este método, una parte de la superficie que está rodeada por el borde puede tratarse sin requerirse ningún modelo de la superficie antes de tratar la superficie, ahorrando por tanto el tiempo de programar el modelo de la superficie así como de establecer una trayectoria predeterminada para mover la herramienta. Las coordenadas a lo largo de una trayectoria de la herramienta 130 que se ha determinado mientras se mueve la herramienta 130 sobre la superficie basándose en datos de sensor pueden usarse como base para un modelo de la superficie real 150 de la pieza 140.

En esta realización, cuando la herramienta se mueve de vuelta desde el borde, la herramienta puede moverse a lo largo de una trayectoria que es próxima, en particular, paralela a una trayectoria a lo largo de la cual ya se ha movido al dirigirse hacia el borde. Por tanto, datos para la velocidad y/o dirección de movimiento y/o datos para la fuerza con la que se empuja la herramienta hacia abajo pueden almacenarse por la máquina de CNC para posiciones del martillo a lo largo de la trayectoria hacia el borde, en particular, para toda la trayectoria entre dos veces que se alcanza el borde. Cuando se mueve la herramienta dirigiéndose de vuelta desde el borde, entonces la máquina de CNC puede usar los datos de una trayectoria hacia el borde almacenados anteriormente para determinar la nueva trayectoria. Pueden almacenarse datos de posiciones de la herramienta para cada trayectoria de borde a borde. Los datos almacenados pueden usarse como base para un modelo de la superficie real.

Por tanto, una máquina de CNC que realiza un método según la invención puede realizar tratamiento de rebordes y/o esquinas determinando parámetros de tratamiento previstos para ubicaciones previstas futuras aunque no haya ningún modelo de la superficie disponible en la máquina de CNC antes de trabajar la superficie. Al final del tratamiento de la superficie, se ha tratado toda la zona delimitada por el borde. Por tanto, puede estar disponible un modelo de la forma real de la superficie en toda la zona.

En una trayectoria en una zona en la que no hay ningún dato asociado almacenado que pueda servir como base para un modelo, la velocidad de movimiento y/o la fuerza con la que se empuja la herramienta hacia abajo pueden reducirse para trabajar de manera cuidadosa la superficie.

En una realización, la herramienta puede no estar en contacto continuo con la superficie 150 de la pieza 140 que va a tratarse. En vez de eso, la herramienta está alejada la superficie una distancia. En este caso, la distancia entre la herramienta y la superficie se controla mediante la máquina de CNC. La distancia entre la herramienta y la superficie puede tener que ser lo suficientemente grande para permitir que la herramienta se acelere hasta una velocidad de empuje requerida que permita que la herramienta entre en contacto con la superficie con una fuerza deseada. Puede usarse un accionador para acelerar la herramienta y/o para aplicar fuerza sobre la superficie. La distancia óptima para una correcta aceleración y/o una correcta fuerza aplicada a la superficie puede depender de la orientación de la superficie 150 con respecto a la herramienta 240.

La herramienta puede portarse por un accionador que puede estar unido a una unidad de sensor. La unidad de sensor puede comprender sensores de desviación y/o sensores de fuerza que están configurados para detectar desviaciones y/o fuerzas aplicadas a la herramienta en tres direcciones diferentes que pueden ser perpendiculares entre sí. La figura 5 ilustra la configuración a modo de ejemplo de un martillo como herramienta 530 que se encuentra sobre la superficie 550 de una pieza 140 que va a tratarse mediante el martillo. El martillo se empuja hacia abajo sobre la superficie 550 con una fuerza 560 y se acelera en esta dirección. Cuando alcanza la superficie 550, experimenta la fuerza contrarrestante 570 que se dirige de manera normal a la superficie en el punto de contacto. La fuerza contrarrestante 570 puede no estar dirigida, en general, en la dirección en la que se empuja el martillo hacia abajo sobre la superficie. La dirección de la fuerza contrarrestante 570 depende del ángulo entre la dirección 560 en la que se empuja el martillo sobre la superficie y un plano tangencial a la superficie en el punto en el que el martillo entra en contacto con la superficie. La unidad de sensor 220 mide la fuerza contrarrestante y/o una desviación aplicada al martillo. La magnitud de la fuerza contrarrestante puede derivarse a partir de la salida de sensor mediante la máquina de CNC. Basándose en la magnitud de la fuerza contrarrestante 570, la máquina de CNC puede adaptar la distancia entre el martillo 530 y la superficie 550 de tal manera que el martillo tenga suficiente espacio libre para acelerar para golpear la superficie con la fuerza deseada. Además, o en lugar de eso, la fuerza aplicada al martillo 530 por el accionador puede variarse dependiendo de la magnitud de la fuerza contrarrestante.

La figura 6 ilustra la situación en la que se acciona un accionador 660 mediante una señal de control de accionador 620 que indica la fuerza ejercida sobre un martillo 640 mediante el accionador 660 a lo largo del tiempo. El tiempo se indica a lo largo del eje de las x 610 de la figura, y el eje de las y de la figura indica una fuerza 615. La línea 630 describe la fuerza con la que el martillo 640 golpea la superficie 650 después del tiempo facilitado en el eje de las x 610. La línea 630 describe la fuerza que se aplica teóricamente si el golpe se produce en condiciones óptimas, en particular, en las que el golpe impacta de manera perpendicular a la superficie 650 y en las que el martillo comenzó a una distancia óptima desde la superficie.

La fuerza de impacto real 680 puede medirse mediante un sensor. De manera alternativa o adicional, la longitud del intervalo de tiempo 670 entre el comienzo de la aceleración del martillo 640 mediante el accionador 660 y su impacto sobre la superficie 650 puede ser una medida de la fuerza de impacto 680. Por tanto, la máquina de CNC puede controlar la longitud del intervalo de tiempo 670 para controlar la fuerza que se ejerce sobre la superficie 650. Para lograr el control del intervalo de tiempo 670, la máquina de CNC puede adaptar la distancia entre el accionador 660 y la superficie 650 para variar el intervalo de tiempo a lo largo del cual se acelera el martillo antes del impacto. Para reducir la fuerza de impacto 680, puede reducirse la distancia entre el accionador 660 y la superficie 650. De esta manera, puede determinarse la fuerza de impacto correcta para la orientación de superficie real.

Si el accionador 660 se hace funcionar con una frecuencia de algunos cientos de ciclos de accionador por segundo, entonces pueden medirse algunos cientos de intervalos de tiempo 670 por segundo. Dentro de cada ciclo de accionador, se determinará un intervalo de tiempo 670 y la fuerza de impacto 680.

Teniendo en cuenta la fuerza de impacto en tres direcciones diferentes, en particular perpendiculares entre sí, puede derivarse el ángulo entre la dirección de un golpe de martillo y la fuerza contrarrestante ejercida por la superficie 650. De esta manera, el control de la fuerza aplicada a la superficie moviendo la unidad de mecanizado con el martillo no en contacto con la superficie entre golpes de martillo y monitorizando el intervalo de tiempo 670 entre el comienzo de la aceleración de martillo y el impacto del martillo puede conducir a las mismas acciones de tratamiento con martillo que el control de la fuerza aplicada a la superficie moviendo la unidad de mecanizado con el martillo en contacto con la superficie y midiendo las fuerzas y desviaciones ejercidas sobre el martillo por la superficie, tal como se describió anteriormente.

Para controlar la dirección en la que se ejerce una fuerza sobre la superficie 650, puede hacerse pivotar el martillo. Hacer pivotar el martillo puede incluir hacer pivotar el accionador 660. El martillo puede hacerse pivotar un ángulo que se basa en el ángulo anteriormente mencionado entre la dirección del golpe de martillo y la fuerza contrarrestante ejercida por la superficie 650.

La realización en la que la herramienta no está en contacto continuo con la superficie, en particular, las realizaciones ilustradas mediante la figura 6, también pueden comprender una unidad de sensor 220. La unidad de sensor puede estar unida a la unidad de accionador de la misma manera en que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor 220 también puede estar unida a la máquina de CNC 110 de la misma manera que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor puede estar dispuesta como en los ejemplos descritos anteriormente, en particular tal como se comentó con relación a la figura 3.

En una realización particular, que se ilustra mediante la figura 7, la herramienta 240 no tiene un contacto continuo con la superficie 150, sino que está rodeada por un cilindro 710 que tiene contacto con la superficie 150. El cilindro puede ejercer sólo una fuerza mínima, en particular, el peso del cilindro, sobre la superficie. El propósito del cilindro es mantener una distancia mínima entre la herramienta 240, en particular, un martillo, y la superficie 150 de la pieza 140 que va a tratarse.

En esta realización, la unidad de accionador 230 está dispuesta de tal manera que mantiene el contacto con el cilindro 710, mientras que el cilindro 710 mantiene el contacto con la superficie 150. La herramienta 240 se empuja

5 hacia la superficie 150 mediante la unidad de accionador 230. La herramienta 240 puede entrar en contacto, o no, con la superficie interna del cilindro 710. Usando el cilindro 710, es posible que la unidad de accionador 230 pueda moverse, junto con la herramienta 240 montada en la unidad de accionador 230, sobre la superficie 150 a una distancia mínima desde la superficie correspondiente a la altura del cilindro 710. En particular, la unidad de accionador 230 junto con la herramienta montada 240 puede moverse a una distancia constante desde la superficie correspondiente a la altura del cilindro 710 durante el tratamiento de la superficie.

10 Las realizaciones en las que la herramienta está rodeada por un cilindro 710, en particular tal como se ilustra mediante la figura 7, también pueden comprender una unidad de sensor 220. La unidad de sensor puede estar unida a la unidad de accionador de la misma manera que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor 220 también puede estar unida a la máquina de CNC 110 de la misma manera que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor puede estar dispuesta como en los ejemplos descritos anteriormente, en particular tal como se comentó en relación con la figura 3.

15 En una realización adicional, la herramienta puede estar rodeada por un cilindro 710 como en las realizaciones descritas con respecto a la figura 7, pero la herramienta, en particular, un martillo, se mueve sobre la superficie de la pieza con contacto continuo con la superficie. En este caso, la realización también puede comprender una unidad de sensor 220. La unidad de sensor puede estar unida a la unidad de accionador de la misma manera que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor 220 también puede estar unida a la máquina de CNC 110 de la misma manera que como se describió anteriormente con respecto a la figura 2. La unidad de sensor puede estar dispuesta como en los ejemplos descritos anteriormente, en particular, tal como se comentó en
20 relación con la figura 3.

Aplicando el cilindro que rodea la herramienta, la herramienta tiene protección frente a influencias externas. Además, el cilindro puede servir como soporte para el accionador y/o la unidad de sensor.

Las realizaciones anteriormente mencionadas deben interpretarse únicamente a modo de ejemplo. Pueden combinarse características de las realizaciones anteriormente mencionadas entre sí.

25

REIVINDICACIONES

1. Método para mover una herramienta (240) de una máquina de CNC sobre una superficie (150) en el que la máquina de CNC está dotada de una unidad de sensor (220), que comprende las etapas de:
 - 5 (a) mover la herramienta (240) sobre la superficie (150) en una dirección predeterminada y/o a lo largo de una trayectoria predeterminada,
 - (b) tratar la superficie (150) mediante la herramienta (240) según un valor predeterminado de un parámetro de tratamiento,
 - (c) determinar, mediante la unidad de sensor (220), un valor de respuesta que indica una respuesta de la herramienta (240) al tratamiento de la superficie,
 - 10 (d) determinar una nueva dirección y/o una nueva trayectoria basándose en el valor de respuesta, estando el método caracterizado porque,

la etapa (d) se basa en un modelo de la superficie que se deriva de una medición llevada a cabo mientras se mueve la herramienta sobre la superficie, y

el modelo se basa en datos de trayectoria de la herramienta.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, en el que el modelo se usa para determinar, en la etapa (d), una dirección y/o una velocidad y/o una trayectoria y/o un valor para un parámetro de tratamiento que se aplica(n) tras haber llevado a cabo la secuencia de etapas (a) a (d) o de etapas (a) y (b) una o más veces después de la determinación.
- 20 3. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que, si la herramienta (240) se ha movido hasta o más allá de un borde predeterminado, la herramienta se desplaza una distancia predeterminada y la nueva dirección se determina como la inversa de la dirección anterior.
4. Método de una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (c) comprende proporcionar, mediante la unidad de sensor (220), datos que indican una desviación de la herramienta y/o que indican una fuerza experimentada por la herramienta (240) cuando se trata la superficie, en particular, experimentada en
 - 25 respuesta a un impacto de la herramienta contra la superficie.
5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (a) comprende mover la herramienta con una velocidad predeterminada y la etapa (d) comprende determinar una nueva velocidad, y/o en el que la etapa (d) comprende determinar un nuevo valor para el parámetro de tratamiento.
- 30 6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (a) comprende, mientras se mueve la herramienta (240), la herramienta está en contacto con la superficie (150), o la herramienta no está en contacto continuo con la superficie (150), en particular, la herramienta está a una distancia fija desde la superficie.
7. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la herramienta (240) está rodeada por un cilindro que tiene contacto con la superficie (150).
- 35 8. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que la etapa (d) comprende mantener la fuerza que se aplica a la superficie (150) mediante la herramienta (240) constante y/o dentro de un intervalo de tolerancia predeterminado.
9. Método según una de las reivindicaciones anteriores, en el que tratar la superficie (150) comprende tratar con martillo la superficie.
- 40 10. Máquina de CNC, que está configurada para mover una herramienta (240) de una máquina de CNC sobre una superficie (150), que comprende:
 - 45 una unidad de movimiento configurada para mover la herramienta (240) en una dirección predeterminada y/o a lo largo de una trayectoria predeterminada,
 - una unidad de tratamiento configurada para tratar la superficie (150) mediante la herramienta (240) según un valor predeterminado de un parámetro de tratamiento,
 - una unidad de sensor (220) configurada para determinar un valor de respuesta que indica una respuesta de la herramienta (240) al tratamiento de la superficie (150),
 - una unidad de decisión configurada para determinar una nueva dirección y/o una nueva trayectoria basándose en el valor de respuesta,

estando la máquina de CNC caracterizada porque,

la unidad de decisión está configurada para determinar la nueva dirección y/o la nueva trayectoria basándose en un modelo de la superficie (150), que se deriva de una medición llevada a cabo mientras se mueve la herramienta sobre la superficie, y

5 en la que el modelo se basa en datos de trayectoria de la herramienta.

11. Máquina de CNC según la reivindicación 10, en la que la unidad de movimiento está configurada para mover la herramienta con una velocidad predeterminada y la unidad de decisión está configurada para determinar una nueva velocidad, y/o en la que la unidad de decisión está configurada para determinar un nuevo valor para el parámetro de tratamiento.

10 12. Controlador de máquina de CNC configurado para controlar una máquina de CNC para llevar a cabo el método según una de las reivindicaciones 1 - 9.

13. Producto de programa informático, que comprende uno o más medios legibles por una máquina de CNC, que portan instrucciones en los mismos para realizar las etapas del método según una de las reivindicaciones 1 - 9 cuando se ejecutan por la máquina de CNC.

15

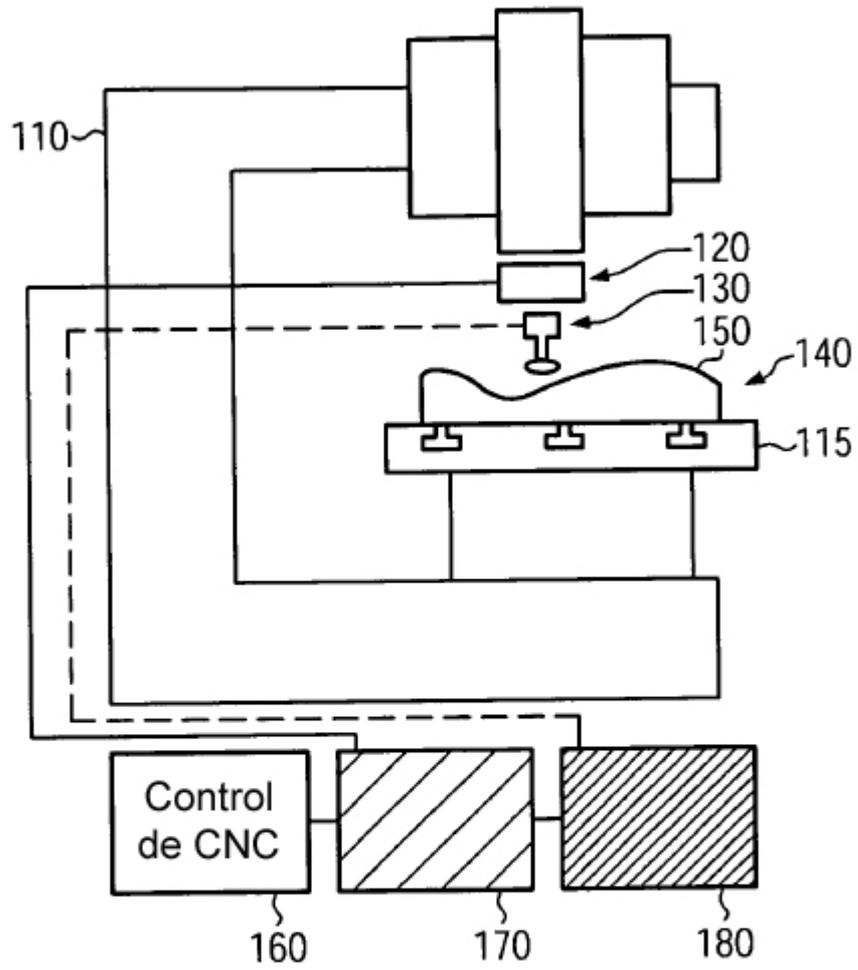


FIG. 1

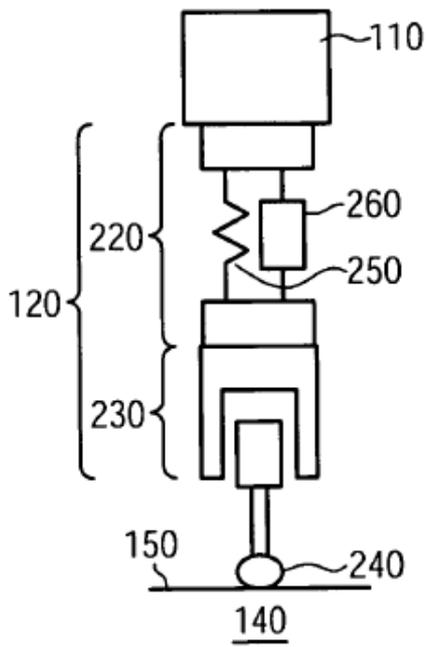


FIG. 2a

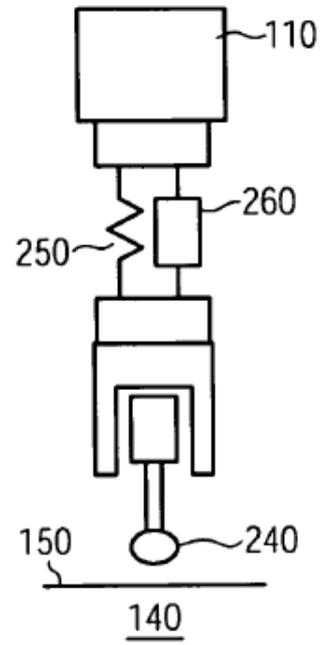


FIG. 2b

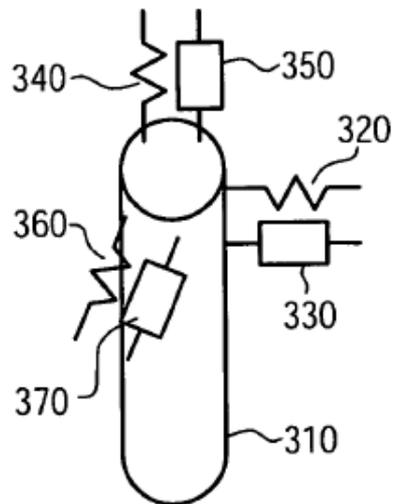


FIG. 3

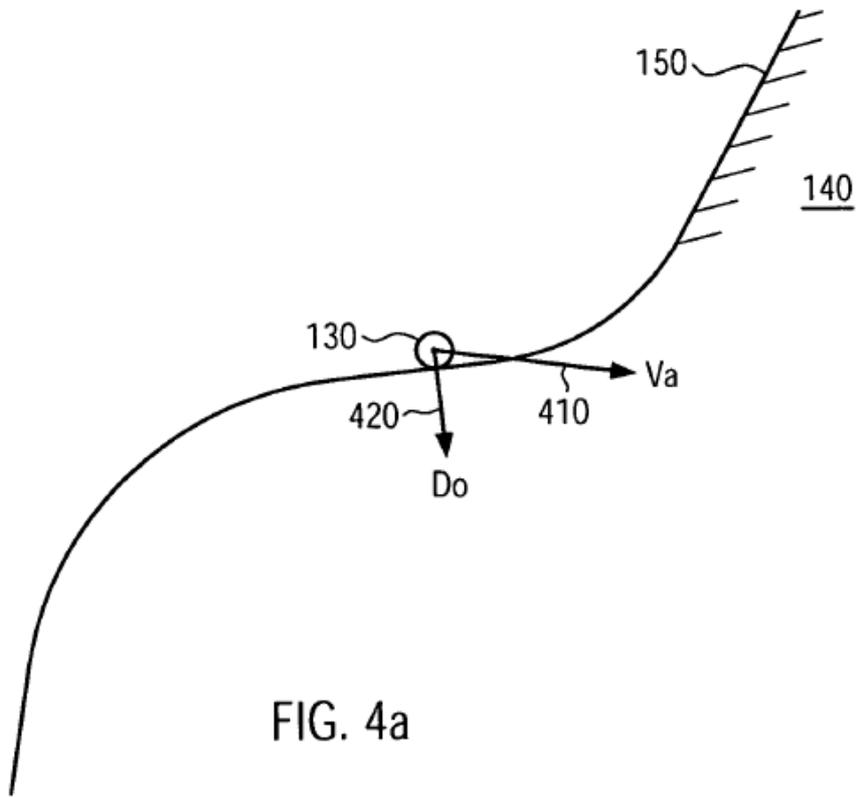


FIG. 4a

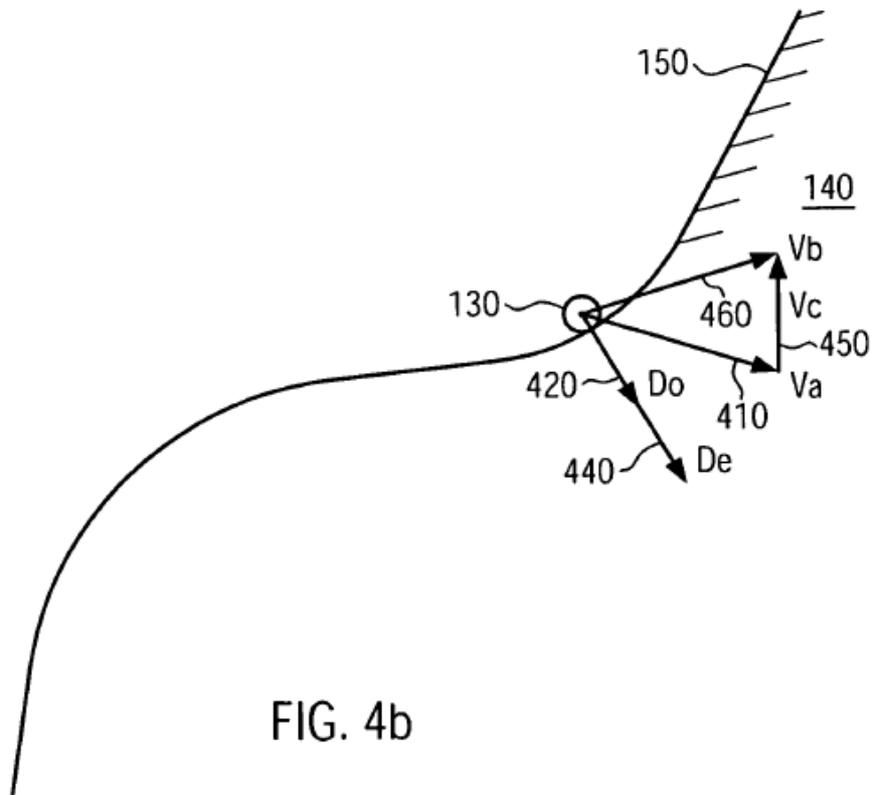


FIG. 4b

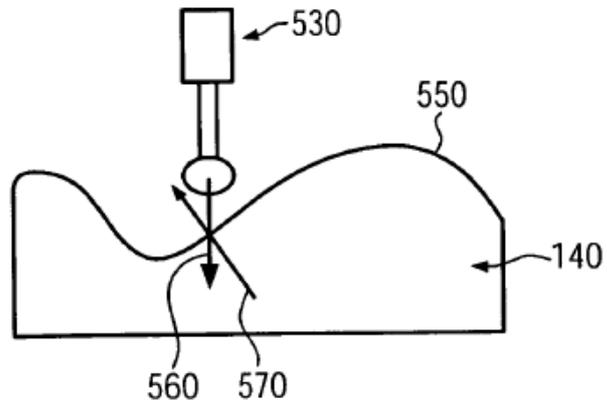


FIG. 5

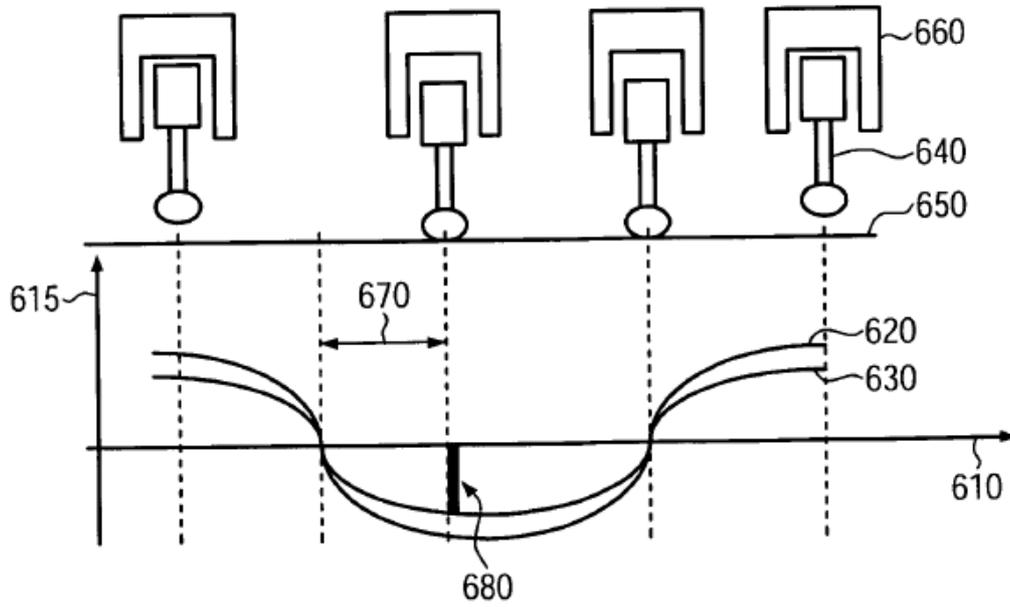


FIG. 6

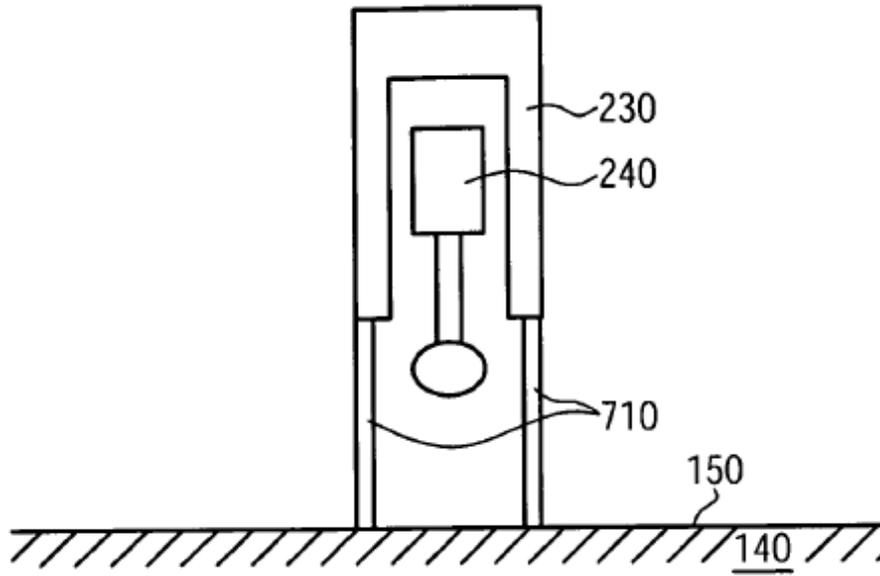


FIG. 7