

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 904 283**

51 Int. Cl.:

B23B 49/00

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.08.2017 E 17185214 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.12.2021 EP 3281741**

54 Título: **Procedimiento y dispositivo para mecanizar una pieza de trabajo en una máquina herramienta controlada numéricamente**

30 Prioridad:

08.08.2016 DE 102016214699

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

04.04.2022

73 Titular/es:

**DMG MORI ULTRASONIC LASERTEC GMBH
(100.0%)**

**Gildemeisterstrasse 1
55758 Stipshausen, DE**

72 Inventor/es:

**KETELAER, JENS y
PRAETORIUS, MANUEL**

74 Agente/Representante:

UNGRÍA LÓPEZ, Javier

ES 2 904 283 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 y dispositivo para mecanizar una pieza de trabajo en una máquina herramienta controlada numéricamente

5 La presente invención se refiere a un procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo por medio de una herramienta en una máquina herramienta controlada numéricamente. La presente invención también se refiere a un dispositivo y una máquina herramienta en los que se puede llevar a cabo el procedimiento antes mencionado. La presente invención también se refiere a un producto de programa informático con el que se puede llevar a cabo el procedimiento antes mencionado.

Antecedentes de la invención

10 En la técnica anterior se conocen máquinas herramientas en las que, por ejemplo, cuando una pieza de trabajo se mecaniza con una herramienta, el movimiento de rotación de la herramienta puede superponerse mediante una vibración ultrasónica de la herramienta.

15 El documento EP 1 763 416 B1 describe en este contexto una herramienta con un portaherramientas que presenta un receptáculo de portaherramientas en un primer extremo para adaptarse a una punta de husillo giratoria y un receptáculo de herramientas en un segundo extremo opuesto al primer extremo, y con un cabezal de herramienta reemplazable en el receptáculo de herramientas, en donde el portaherramientas comprende un motor de vibración.

20 En una máquina herramienta de este tipo, un generador ultrasónico en el portaherramientas que genera la vibración ultrasónica de la herramienta, un cuerpo vibratorio y la herramienta utilizada en el portaherramientas forman un sistema vibratorio que es excitado por una señal eléctrica a vibraciones mecánicas, por lo que la mayor amplitud de oscilación mecánica posible se obtiene cuando el sistema oscilante se excita con su frecuencia de resonancia.

Si la herramienta está ahora sumergida en la pieza de trabajo, el sistema vibratorio se amortigua por el material de la pieza de trabajo y la fricción entre la pieza de trabajo y la herramienta, y la frecuencia de resonancia cambia a una frecuencia de resonancia ligeramente más baja. Se sabe que la frecuencia de resonancia cambia aún más al aumentar la amortiguación.

25 A menudo surge el problema de que hay fluctuaciones significativas en la frecuencia de resonancia durante el mecanizado. Sin embargo, al mismo tiempo, esto significa que la capacidad de amortiguación del material que se está procesando ha cambiado.

30 La razón de esto pueden ser cambios de material dentro de la pieza de trabajo, ya que puede ocurrir falta de homogeneidad (como, por ejemplo, límites de grano o inclusiones de material extraño, etc.) a pesar de un material aparentemente homogéneo de la pieza de trabajo. Como resultado de tales cambios de material, puede ser necesario adaptar los parámetros de procesamiento especificados con los que la herramienta procesa la pieza de trabajo al material respectivo y sus propiedades.

35 Sin embargo, los cambios geométricos en la pieza de trabajo tales como, por ejemplo, taladros o rebajes, representan un tipo de falta de homogeneidad en el material de la pieza de trabajo, que puede influir eventualmente en los parámetros de mecanizado especificados.

40 Para determinar cuándo se produce un cambio de material durante el mecanizado de la pieza, ya se conocen sistemas de medición que utilizan el principio del ruido transmitido por la estructura. Un sensor de ruido de estructura correspondiente se adjunta al bastidor de la máquina, generalmente a una distancia considerable de la pieza de trabajo, que mide las vibraciones que se producen y genera una señal de medición a partir de ellas. Una unidad de control evalúa estas señales de medición y, si las desviaciones de la señal de medición se determinan en consecuencia, puede cambiar los parámetros de procesamiento especificados durante el mecanizado.

45 Sin embargo, esto da como resultado el inconveniente de que, debido a que el sensor de medición está dispuesto más lejos, las vibraciones que se producen no se deben exclusivamente al cambio de material dentro de la pieza de trabajo. Estas vibraciones pueden verse influenciadas o superpuestas por vibraciones del entorno. Esto puede conducir a evaluaciones incorrectas de la señal de medición y, como resultado, a una adaptación incorrecta de los parámetros de mecanizado.

Por esta razón, es importante detectar un cambio en el material durante el mecanizado de la pieza de trabajo lo más cerca posible de la propia pieza de trabajo para evitar en gran medida la superposición de vibraciones externas.

50 El documento FR 2 944722 A1 da a conocer un procedimiento para taladrar una pieza de trabajo que comprende las etapas de:

- controlar un movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo para mecanizar la pieza de trabajo,
- generar una vibración de la herramienta por medio de un generador de vibraciones,

- detectar al menos una señal de sensor emitida por el generador de vibraciones y

- detectar un cambio de material en la pieza de trabajo mientras se controla el movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo sobre la base de al menos una señal de sensor emitida por el generador de vibraciones, en donde el movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo se controla en base a parámetros de mecanizado predeterminados cuando se produce un cambio de material en la pieza de trabajo sobre la base de al menos una señal de sensor emitida por el generador ultrasónico, y - controlar el movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo sobre la base de los parámetros de procesamiento ajustados, - en donde el ajuste de los parámetros de procesamiento comprende, además, al menos una adaptación del generador de vibraciones.

El documento EP 2 803 455 A1 da a conocer un dispositivo de corte con una cuchilla y una unidad de evaluación para detectar un cambio de material en la pieza de trabajo mientras se controla el movimiento relativo de la cuchilla con respecto a la pieza de trabajo sobre la base de una señal de sensor emitida por un generador ultrasónico.

Sumario de la invención

Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo en una máquina herramienta controlada numéricamente, con el que se eviten los problemas anteriores.

Otro objeto de la presente invención es proporcionar un dispositivo, una máquina herramienta y un producto de programa informático con los que se pueda llevar a cabo el procedimiento según la invención.

Estos objetos se consiguen mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, una máquina herramienta de acuerdo con la reivindicación 9 y un producto de programa informático de acuerdo con la reivindicación 10. Las reivindicaciones dependientes se refieren a ejemplos de realización ventajosos del procedimiento según la invención.

El procedimiento de la invención para mecanizar una pieza de trabajo en una máquina herramienta controlada numéricamente por medio de una herramienta comprende las etapas de controlar un movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo para mecanizar la pieza de trabajo, generar una vibración ultrasónica de la herramienta por medio de un generador ultrasónico, detectar al menos una señal de sensor emitida por el generador ultrasónico, y detectar un cambio de material en la pieza de trabajo mientras se controla el movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo sobre la base de al menos una señal de sensor emitida por el generador ultrasónico.

Además de estimular la vibración de la herramienta, el generador ultrasónico también sirve al mismo tiempo como sensor para registrar la frecuencia de resonancia del sistema vibratorio. La ventaja de este procedimiento consiste en que el generador ultrasónico está dispuesto muy cerca de la herramienta y en línea directa con la herramienta y la pieza de trabajo. De esta manera, la frecuencia de resonancia y, por lo tanto, la capacidad de amortiguación del material presente en cada caso se puede registrar muy cerca de la pieza de trabajo, lo que, a su vez, reduce significativamente la influencia de fuentes de vibración externas.

Además, un cambio en el material en la pieza de trabajo se puede identificar con precisión milimétrica en la transición de un material a otro, y esta información se puede transferir al control de la herramienta.

El procedimiento según la invención se define en la reivindicación 1.

Los parámetros de procesamiento especificados se pueden controlar en función de las señales del sensor del generador ultrasónico para procesar los materiales respectivos con los parámetros necesarios para ello.

Una ventaja adicional se revela en el hecho de que una especie de "huella dactilar" (por ejemplo, cierta frecuencia de resonancia amortiguada del sistema oscilante y/o cierta capacidad de amortiguación del material) se puede generar y almacenar para cada material reduciendo en gran medida los efectos de las fuentes de vibraciones externas.

Esto puede ser, por ejemplo, una gran ventaja para materiales compuestos, ya que a menudo se combinan materiales muy diferentes (CFRP con titanio/aluminio) en una pieza de trabajo. Esto da como resultado el deseo o la necesidad de adaptar los parámetros de procesamiento en consecuencia para cada material. A menudo, los respectivos espesores de capa de los materiales se programaban antes del mecanizado sobre la base de una sujeción sin errores, sobre cuya base se ajustaban los parámetros de mecanizado durante el mecanizado.

Sin embargo, dado que las fluctuaciones en el espesor de la capa y las irregularidades en la sujeción de la pieza de trabajo son inevitables, parte de uno de los materiales se mecanizó siempre con parámetros de mecanizado inadecuados. Con la ayuda del procedimiento, ahora es posible identificar un cambio de material en la pieza de trabajo con precisión milimétrica y luego adaptar los parámetros de procesamiento al material respectivo.

Otro desarrollo ventajoso del procedimiento consiste en que la pieza de trabajo comprende al menos dos áreas de

material diferentes, y una transición de la herramienta de un área de material a la otra área de material de la pieza de trabajo se detecta en la etapa de detección de un cambio de material en la pieza de trabajo.

El procedimiento descrito con anterioridad no se limita a un número limitado de cambios de material, sino que puede detectar cambios de material ilimitados, en función de los cuales se pueden ajustar los parámetros de mecanizado de la herramienta.

Además, el procedimiento puede desarrollarse de manera tan ventajosa que la pieza de trabajo comprenda un material compuesto, en particular un material compuesto reforzado con fibra de carbono, y/o un material de vidrio y/o cerámica.

El procedimiento no se limita a materiales específicos. Los materiales compuestos, el vidrio y la cerámica también dejan ventajosamente una "huella dactilar" (frecuencias de resonancia características y/o capacidad de amortiguación), que se puede almacenar y utilizar para adaptar los parámetros de procesamiento especificados.

El procedimiento puede desarrollarse ventajosamente de modo que las áreas de material sean capas de diferentes materiales o propiedades del material, o que las áreas de material sean inclusiones de material en la pieza de trabajo, o que las áreas de material sean perforaciones y/o rebajes en la pieza de trabajo.

Los cambios de material o las áreas de material pueden diferir no solo en términos de diferentes propiedades del material, sino que también pueden caracterizarse por cambios geométricos en la pieza de trabajo.

Por ejemplo, durante el mecanizado, la herramienta puede abrirse camino desde el material de la pieza de trabajo hasta un orificio en la pieza de trabajo (posiblemente solo en forma parcial). Entonces, también, hay un cambio en la frecuencia de resonancia o la capacidad de amortiguación de la pieza de trabajo en este punto y, por lo tanto, en un tipo de cambio de material. También en este caso puede resultar conveniente adaptar los parámetros de mecanizado especificados.

Ventajosamente, el procedimiento se puede desarrollar de modo adicional de tal manera que, en la etapa de detección de un cambio de material en la pieza de trabajo, se detecte el contacto de la herramienta con una superficie de la pieza de trabajo (es decir, por ejemplo, un cambio de material del aire a la superficie de la pieza de trabajo, en contraste con un cambio de material en la pieza de trabajo).

Esto tiene una ventaja particularmente grande, ya que se puede garantizar un acercamiento muy rápido a la pieza de trabajo y se puede acortar el tiempo de mecanizado. Esto es especialmente ventajoso en el caso de materiales muy susceptibles de romperse, como el vidrio o la cerámica.

Hasta ahora, la herramienta solo se ha acercado a piezas de trabajo hechas de dichos materiales hasta una distancia de seguridad especificada a alta velocidad, después de lo cual el trabajo continúa con los parámetros de procesamiento especificados, que son comparativamente lentos. Si el margen de seguridad se elige con demasiada generosidad, el tiempo de procesamiento se pierde innecesariamente.

Al detectar el cambio de material (por ejemplo, del aire a la superficie de la pieza de trabajo), la herramienta se puede mover a alta velocidad hasta el límite real desde el aire a la pieza de trabajo antes de que los parámetros de mecanizado especificados se adapten al material correspondiente.

En la etapa de reconocimiento de un cambio de material en la pieza de trabajo, se registra un cambio en el tiempo y, al mismo tiempo, un cambio en el valor de uno o más parámetros de la señal del sensor del generador ultrasónico.

La ventaja de esta etapa consiste en que un cambio en la frecuencia de resonancia del sistema oscilatorio también puede tener otras razones además de un cambio en el material. El proceso de mecanizado a veces genera grandes cantidades de calor que, en algunos casos, calientan tanto la herramienta como la pieza de trabajo.

Esto también influye considerablemente en la frecuencia de resonancia del sistema vibratorio. Sin embargo, es posible diferenciar estas influencias de las de un cambio de material.

Un cambio en la frecuencia de resonancia del sistema vibratorio debido al calentamiento de la herramienta y/o pieza de trabajo tiene lugar en forma continua y durante un período de tiempo comparativamente largo. Esto contrasta con la aparición de un cambio de material, que se nota en un cambio repentino en la frecuencia de resonancia.

Además del cambio actual en uno o más parámetros de la señal del sensor, también se registra el cambio en el valor de los parámetros correspondientes de la señal del sensor. Cada señal de sensor puede presentar un ruido, que se nota, entre otras cosas, en cambios de parámetro temporalmente abruptos pero muy pequeños.

Por lo tanto, además de registrar el cambio a lo largo del tiempo, también se registra el cambio en el valor de los parámetros correspondientes. Esta combinación forma la base para una declaración confiable sobre la existencia de un cambio de material.

El procedimiento presenta la siguiente etapa: determinar si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor del generador ultrasónico cae por debajo de un tiempo de cambio predeterminado y al mismo tiempo excede un valor de cambio predeterminado.

5 Además de registrar el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de los parámetros de la señal del sensor, es necesario definir valores límite para los respectivos cambios en la señal del sensor.

Sobre esta base, la ocurrencia de un cambio de material puede diferenciarse en gran medida de otros factores (como un cambio de temperatura en la pieza de trabajo/herramienta) determinando si los valores límite se han superado o caído por debajo.

10 Los parámetros de procesamiento especificados se adaptan si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor del generador ultrasónico cae correspondientemente por debajo del tiempo de cambio predeterminado y al mismo tiempo excede el valor de cambio predeterminado.

15 Al verificar adicionalmente el cambio a lo largo del tiempo y el cambio en el valor de al menos un parámetro de la señal del sensor, se puede hacer una declaración más confiable sobre la presencia de un cambio en el material. El riesgo de detectar un cambio de material supuestamente existente debido a cambios de temperatura de la herramienta y la pieza de trabajo se puede minimizar significativamente mediante esta verificación adicional.

20 Otro desarrollo ventajoso de este procedimiento consiste en que la adaptación de los parámetros de mecanizado incluye al menos una adaptación de una velocidad de giro o velocidad de corte y/o un avance del movimiento relativo de la herramienta. Los parámetros de mecanizado especificados son preferiblemente uno o más de una velocidad de avance de la herramienta durante el mecanizado de la pieza de trabajo, una velocidad de corte de los filos o secciones de la herramienta y la velocidad de la herramienta (por ejemplo, una velocidad de husillo de un husillo de trabajo de una máquina herramienta que impulsa la herramienta).

Como resultado de un cambio detectado en el material, se pueden adaptar ciertos parámetros de mecanizado predeterminados, por ejemplo, los del accionamiento principal (por ejemplo, accionamiento del husillo) para la rotación de la herramienta y/o el accionamiento para hacer avanzar la herramienta.

25 Además, es un desarrollo ventajoso del procedimiento si la adaptación de los parámetros de procesamiento comprende además al menos una adaptación de una frecuencia y/o una potencia del generador ultrasónico.

30 No solo los accionamientos para la rotación de la herramienta y el avance de la herramienta se pueden adaptar al cambio de material correspondiente, sino que también el propio generador ultrasónico se puede adaptar a los requisitos del material. Esto puede incluir, por ejemplo, la frecuencia, la amplitud y la potencia del generador ultrasónico.

El procedimiento puede desarrollarse ventajosamente de tal manera que el generador ultrasónico sea un sistema de actuador piezoeléctrico.

35 La ventaja de un sistema de actuador piezoeléctrico es que se pueden generar frecuencias extremadamente altas (ultrasonido) por el comportamiento dinámico muy alto de los cristales piezoeléctricos, mientras que los elementos piezoeléctricos también son extremadamente robustos y presentan un buen comportamiento de control lineal.

El procedimiento puede desarrollarse ventajosamente de tal manera que la herramienta presente al menos un borde de corte determinado geométricamente o al menos un borde de corte geométricamente indefinido.

El proceso no se limita a determinados materiales o herramientas y, por lo tanto, puede utilizarse en una amplia gama de aplicaciones.

40 El dispositivo según la invención se define en la reivindicación 8.

45 La máquina herramienta según la invención para mecanizar una pieza de trabajo por medio de una herramienta comprende lo siguiente: una unidad de control para controlar un movimiento relativo de la herramienta con respecto a la pieza de trabajo para mecanizar la pieza de trabajo, un generador ultrasónico para generar una vibración ultrasónica de la herramienta, y una unidad de detección para detectar al menos una señal de sensor emitida por el generador ultrasónico.

Por lo tanto, es posible implementar el procedimiento descrito con anterioridad en un dispositivo de control o una máquina herramienta y, así, permitir que las máquinas herramientas existentes utilicen el procedimiento. Esto se puede combinar con los aspectos preferidos del procedimiento descrito con anterioridad.

50 El producto de programa informático según la invención presenta lo siguiente: un programa informático almacenado en un medio de almacenamiento de datos legible por ordenador, que se puede ejecutar en una unidad de control numérico de una máquina herramienta controlada numéricamente o en un ordenador conectado a una unidad de control de una máquina herramienta controlada numéricamente y está configurada para realizar el procedimiento descrito con anterioridad.

Como resultado, el procedimiento se puede implementar y ejecutar en el software de control existente de una máquina herramienta. Esto se puede combinar con los aspectos preferidos del procedimiento descrito con anterioridad.

5 A continuación, se describen otros aspectos que pueden utilizarse ventajosamente para la aplicación del procedimiento según la invención o realizaciones de ejemplo del mismo.

10 Un dispositivo para generar una vibración ultrasónica de una herramienta para el mecanizado ultrasónico de una pieza de trabajo y para medir los parámetros de vibración ultrasónica de la vibración ultrasónica de la herramienta, de particular preferencia, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado, puede presentar: un portaherramientas para recibir la herramienta, un transductor ultrasónico (generador ultrasónico) en el portaherramientas para generar la vibración ultrasónica de la herramienta, un dispositivo sensor en el portaherramientas para generar una señal de sensor basada en la vibración ultrasónica de la herramienta, y un dispositivo de evaluación de señales de sensor para evaluar la señal del sensor. El dispositivo de evaluación se puede configurar para realizar un cambio de material en la pieza de trabajo durante el mecanizado de acuerdo con uno de los aspectos anteriores sobre la base de una evaluación de la señal del sensor.

15 Por ejemplo, el transductor ultrasónico (generador ultrasónico) puede diseñarse como uno o más elementos piezoeléctricos, que también funcionan como un dispositivo sensor.

20 Así, se proporciona un dispositivo con el que se puede generar una vibración ultrasónica de la herramienta y, en paralelo, se puede realizar una medición directa de los parámetros de vibración ultrasónica de la herramienta vibratoria, de manera especialmente preferida, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado. Se puede generar una señal de sensor eléctrico que permite sacar conclusiones directas sobre la vibración mecánica. La señal del sensor se puede generar en uno o más puntos en el tiempo o en un período de tiempo durante el mecanizado y, por lo tanto, se puede actualizar continuamente. Esto permite controlar la vibración o detectar cambios en los parámetros de vibración tales como, por ejemplo, una reducción en la amplitud de la vibración o un cambio en la frecuencia de resonancia, de manera particularmente preferida para la detección de un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado.

El dispositivo sensor comprende preferiblemente uno o más elementos sensores piezoeléctricos y la señal del sensor es preferiblemente un voltaje eléctrico causado por la vibración ultrasónica de la herramienta.

30 El portaherramientas es preferiblemente giratorio y el dispositivo presenta un elemento transmisor en el portaherramientas conectado al dispositivo sensor y un elemento receptor separado del elemento transmisor para la transmisión sin contacto de la señal del sensor desde el elemento transmisor hasta el elemento receptor.

El elemento receptor puede disponerse, por ejemplo, fuera del portaherramientas en una parte estacionaria de una máquina herramienta con el dispositivo según la invención. Con la ayuda del elemento receptor del lado de la máquina, que está separado del elemento transmisor, la señal del sensor se puede extraer del portaherramientas giratorio para su evaluación.

35 El dispositivo sensor presenta preferiblemente un elemento de aislamiento para aislamiento eléctrico del transductor ultrasónico y el dispositivo presenta un dispositivo de transferencia de energía para transferir energía al portaherramientas para suministrar energía al transductor ultrasónico, estando aislado eléctricamente el dispositivo de transferencia de energía del elemento transmisor y del elemento receptor.

40 Debido al desacoplamiento eléctrico del dispositivo sensor y la trayectoria de la señal del sensor en el portaherramientas del accionamiento de vibración ultrasónica y su suministro de energía, la vibración de la herramienta se detecta de modo completamente independiente de la generación de vibración de la herramienta, lo que evita que la señal del sensor sea falsificada.

El elemento transmisor y el elemento receptor están configurados preferiblemente para transmitir inductivamente la señal del sensor desde el elemento transmisor hasta el elemento receptor.

45 Esta forma de transmisión sin contacto tiene la ventaja de que no es necesario ningún circuito o fuente de alimentación adicional en el portaherramientas o una fuente de alimentación para sacar la señal del sensor del portaherramientas, ya que la transmisión inductiva no requiere más energía.

50 Preferiblemente, el elemento transmisor forma un primer transformador con el elemento receptor, en donde el elemento transmisor presenta un primer núcleo de ferrita y un devanado primario del primer transformador y el elemento receptor presenta un segundo núcleo de ferrita y un devanado secundario del primer transformador, y el dispositivo de transmisión de energía se forma como un segundo transformador con un devanado primario del segundo transformador y un devanado secundario del segundo transformador, en donde el primer transformador y el segundo transformador están dispuestos de modo que la transmisión de la señal del sensor desde el devanado primario del primer transformador hasta el devanado secundario del primer transformador se produce en una dirección sustancialmente perpendicular a una dirección de transmisión de la energía para suministrar energía al transductor ultrasónico desde el devanado primario del segundo transformador hasta el devanado secundario del

segundo transformador.

Esto tiene la ventaja de que los respectivos campos magnéticos de los dos transformadores están orientados perpendicularmente entre sí, de modo que el suministro de energía y la transmisión de la señal solo se influyen ligeramente entre sí.

- 5 De modo alternativo, el elemento transmisor y el elemento receptor están configurados para transmitir ópticamente la señal del sensor desde el elemento transmisor hasta el elemento receptor.

Una máquina herramienta según la invención para mecanizar una pieza comprende el dispositivo según la invención y una carcasa en la que están dispuestos tanto una parte estacionaria del dispositivo de transmisión de energía, que presenta el devanado primario del segundo transformador y un primer núcleo de carcasa del segundo transformador, como también el elemento receptor.

De este modo, la señal del sensor puede transmitirse a la parte estacionaria de la máquina herramienta y evaluarse allí.

Un procedimiento para medir los parámetros de vibración ultrasónica de una herramienta para el mecanizado de corte ultrasónico de una pieza de trabajo, de particular preferencia, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado, presenta preferiblemente las siguientes etapas: mover la herramienta alojada en un portaherramientas a una vibración ultrasónica; generar una señal de sensor basada en la vibración ultrasónica de la herramienta por medio de un dispositivo sensor en el portaherramientas; reenviar la señal del sensor desde el dispositivo sensor hasta un elemento transmisor conectado al dispositivo sensor en el portaherramientas; transmitir la señal del sensor desde el elemento transmisor hasta un elemento receptor separado del elemento transmisor; reenviar la señal del sensor desde el elemento receptor hasta un dispositivo de evaluación de la señal del sensor; evaluar la señal del sensor en el dispositivo de evaluación de la señal del sensor para determinar los parámetros de vibración ultrasónica de la herramienta, de manera particularmente preferida, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado.

Se genera así una señal de sensor eléctrico que permite extraer conclusiones directas sobre la vibración mecánica, de manera particularmente preferida, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado. La señal del sensor se puede generar en uno o más momentos o en un período de tiempo durante el mecanizado. De este modo, los parámetros de vibración ultrasónica se pueden actualizar constantemente y los cambios en la vibración se pueden detectar continuamente, de manera particularmente preferida, para reconocer un cambio de material en o sobre la pieza de trabajo durante el mecanizado.

Al evaluar la señal del sensor, una frecuencia de la vibración ultrasónica de la herramienta se determina preferiblemente a partir de una frecuencia de la señal del sensor y/o una amplitud de la vibración ultrasónica de la herramienta se determina a partir de una amplitud de la señal del sensor.

Los cambios en la frecuencia de resonancia del sistema oscilante o una reducción en la amplitud pueden determinarse así de manera sencilla a partir de la señal del sensor, de manera particularmente preferida, para detectar un cambio de material en o sobre la pieza durante el mecanizado. Sobre la base de la comparación de la frecuencia radiada y la frecuencia de resonancia actual, el sistema de oscilación se puede regular en resonancia, si esto es ventajoso para el proceso de mecanizado.

Otros aspectos y sus ventajas, así como las ventajas y opciones de implementación más específicas para los aspectos y características descritos con anterioridad, se describen en las siguientes descripciones y explicaciones de las figuras adjuntas, que en modo alguno son restrictivas.

Breve descripción de las figuras

- Fig. 1 muestra un portaherramientas en una vista en sección que se puede utilizar en el procedimiento según la invención en ejemplos de realización;
- Fig. 2A muestra esquemáticamente el mecanizado según la invención de una pieza de trabajo multicapa con las correspondientes señales de sensor del generador ultrasónico, en donde la herramienta mecaniza la pieza de trabajo en la zona del material A;
- Fig. 2B muestra esquemáticamente el mecanizado según la invención de la pieza de trabajo multicapa con señales de sensor asociadas del generador ultrasónico, en donde la herramienta mecaniza ahora la pieza de trabajo en la zona del material B;
- Fig. 3 muestra un diagrama de flujo de una realización de ejemplo del procedimiento según la invención; y
- Fig. 4 muestra esquemáticamente un ejemplo de realización de una máquina herramienta según la invención.

Descripción detallada de las figuras y realizaciones preferidas de la presente invención

A continuación, se describen en detalle ejemplos y ejemplos de realizaciones de la presente invención con referencia a las figuras adjuntas. Los elementos idénticos o similares en las figuras se pueden designar con los mismos símbolos de referencia, pero a veces también con diferentes símbolos de referencia.

La Fig. 1 muestra una estructura ejemplar de un portaherramientas 10 que se puede utilizar en el procedimiento según la invención.

En un extremo del portaherramientas 10, hay una sección 11 de recepción de herramientas para recibir una herramienta 90 (no mostrada en la Figura 1, ver Figura 4). En el portaherramientas 10, varios, por ejemplo, seis primeros elementos 21 piezoeléctricos perforados en forma de disco están dispuestos apilados que, por ejemplo, están conectados a la sección 11 de recepción de herramientas a través de una sección 12 de transmisión y, por ejemplo, un transductor 20 ultrasónico (generador ultrasónico) para convertir una tensión eléctrica en una vibración mecánica (por ejemplo, con una frecuencia en el rango ultrasónico).

A modo de ejemplo, la vibración mecánica de los primeros elementos 21 piezoeléctricos se transmite a la herramienta 90 a través de la sección 12 de transmisión. Los primeros elementos 21 piezoeléctricos pueden diseñarse, por ejemplo, como discos piezocerámicos con electrodos unidos en el medio.

El suministro de energía del transductor 20 ultrasónico tiene lugar, por ejemplo, a través de un transformador (primera transformador), que, por ejemplo, en el lado de la máquina se compone de un primer núcleo 31 de envoltura y un devanado 32 primario (no mostrado en la Fig. 1, ver la Fig. 4) y, por ejemplo, en el lado la herramienta, de un segundo núcleo 33 de envoltura y una bobina 34 secundaria, que están dispuestos, por ejemplo, como elementos anulares en el exterior del portaherramientas 10.

En un lado de la pila de primeros elementos 21 piezoeléctricos alejado de la sección 11 de recepción de herramientas, se dispone, por ejemplo, un elemento 40 sensor piezoeléctrico en forma de disco perforado, por ejemplo, que consiste en un elemento 41 piezoeléctrico y dos contactos 42 y que está, por ejemplo, mecánicamente acoplado con los primeros elementos 21 piezoeléctricos, pero está eléctricamente aislado de los primeros elementos 21 piezoeléctricos mediante un elemento 43 aislante, que puede consistir en un disco perforado cerámico. El elemento 40 sensor piezoeléctrico está, por ejemplo, aislado eléctricamente de un elemento 13 de fijación, por ejemplo, una tuerca de fijación, mediante otro elemento 43 aislante.

El elemento 13 de fijación se utiliza para fijar el elemento 40 sensor piezoeléctrico al transductor 20 ultrasónico y para pretensar los primeros elementos 21 piezoeléctricos debido a la carga dinámica.

Los primeros elementos 21 piezoeléctricos y el elemento 40 sensor piezoeléctrico están orientados de la misma manera, lo que, por un lado, se permite la generación y la detección de la vibración en la misma dirección y, por otro lado, se consigue una disposición que ahorra espacio de los elementos en el portaherramientas 10.

El elemento 40 sensor piezoeléctrico convierte las vibraciones mecánicas del sistema vibratorio, que consta de la herramienta 90, la sección 12 de transmisión, el transductor 20 ultrasónico y el elemento 40 sensor piezoeléctrico, en una señal de sensor, que, a modo de ejemplo, se transmite en forma de tensión eléctrica a través de una conexión 50 de cable desde el elemento 40 sensor piezoeléctrico a través del portaherramientas 10 hasta un elemento 61 y 62 transmisor en el exterior del portaherramientas 10.

Desde el elemento 61 y 62 transmisor, la señal del sensor se transmite, por ejemplo, sin contacto a un elemento 81 y 82 receptor del lado de la máquina (no mostrado en la Fig. 1, ver la Fig. 4).

El elemento 61 y 62 transmisor es parte de otro transformador (segundo transformador) y consta, por ejemplo, de un primer núcleo 61 de ferrita y un devanado 62 primario; el elemento 81 y 82 receptor también forma parte del segundo transformador y consta de un segundo núcleo 81 de ferrita y un devanado 82 secundario.

De este modo, la señal del sensor puede transmitirse inductivamente desde el portaherramientas 10 a un dispositivo de evaluación de la señal del sensor del lado de la máquina.

Alternativamente, también es posible una transmisión óptica, en donde el elemento 61 y 62 transmisor está diseñado como LED y el elemento 81 y 82 receptor, como un fotodiodo. El elemento 61 y 62 transmisor se puede dimensionar y posicionar de tal manera que encaje en una perforación 70 para un chip de datos para datos de herramientas de acuerdo con la norma DIN 69893. El portaherramientas 10 puede girar con respecto a una parte estacionaria de la máquina 1000 herramienta (no mostrada en la Figura 1, ver Figura 4).

La Fig. 2A muestra esquemáticamente un proceso de mecanizado de una herramienta 90 de corte para mecanizado ultrasónico en una pieza WS, que se compone de varias capas de diferentes materiales (material A y material B).

En el diagrama contiguo, se muestran las correspondientes señales del sensor (amplitud, frecuencia, potencia) de los elementos 21 piezoeléctricos, en donde ya se muestra en el diagrama la diferencia entre el sistema de oscilación libre (es decir, sin amortiguación) y el sistema de oscilación amortiguado por inmersión en el material A.

Cuando se sumerge en el material A, hay que suministrar más potencia al sistema oscilante para generar una

amplitud constante, pero al mismo tiempo la frecuencia de resonancia del sistema oscilante cambia a una frecuencia más baja, ya que está amortiguada por el material A.

La Fig. 2B muestra esquemáticamente el proceso de mecanizado después de que la herramienta 90 de corte se haya sumergido en el segundo material B para el mecanizado ultrasónico. Las señales del sensor de los elementos 21 piezoeléctricos cambian como se muestra en el diagrama contiguo.

Sobre la base de las señales del sensor cambiadas, por un lado, se puede reconocer el cambio de material en la pieza de trabajo y, preferiblemente, se pueden adaptar los parámetros de mecanizado respectivos tales como, por ejemplo, la velocidad de rotación, la velocidad de corte y/o el avance de la herramienta, pero también la parámetros de vibración tales como, por ejemplo, los parámetros de las señales de activación a los elementos 21 piezoeléctricos en función de las señales de sensor detectadas o en función de la detección del cambio de material.

La Fig. 3 muestra un diagrama de flujo de un ejemplo de realización del procedimiento según la invención. Al principio, en la etapa S2, la herramienta 90 se opera sobre la base de parámetros de mecanizado predeterminados. En la siguiente etapa (S3), la vibración ultrasónica de la herramienta 90 es generada por los elementos 21 piezoeléctricos, detectando al mismo tiempo las señales de los elementos 40 sensores piezoeléctricos tales como amplitud, frecuencia y potencia (etapa S4).

En la siguiente etapa S5, tiene lugar ahora una primera evaluación de las señales de sensor detectadas. En este caso, por ejemplo, se comprueba si las señales detectadas son esencialmente constantes (en el rango de un ruido de la señal). Si este no es el caso, se registra un cambio temporal t de la señal del sensor respectiva en la etapa S6, es decir, qué tan rápido cambia esta señal, y, al mismo tiempo, se registra el cambio de valor y de la señal del sensor respectiva, es decir, cuánto o en qué medida cambia la señal correspondiente.

Estos valores registrados se comparan ahora en las dos etapas S7 y S8 siguientes con los valores límite definidos previamente t_{limit} e y_{limit} para poder determinar sobre la base de esta comparación si se ha producido un cambio de material o no.

Para ello, en la etapa S7, se compara primero el cambio t a lo largo del tiempo con el valor límite t_{limit} previamente establecido.

Si el cambio detectado a lo largo del tiempo t está por debajo del valor límite definido t_{limit} , en la siguiente etapa S8, se compara en qué medida ha cambiado el valor y . Para ello, el cambio en el valor registrado y se compara con el valor límite y_{limit} previamente definido. Si el cambio en el valor y detectado está por encima del valor límite definido y_{limit} , las señales del sensor detectadas hablan de un cambio de material en la pieza WS.

La descripción anterior puede referirse, por ejemplo, al hecho de que los valores registrados comprenden una frecuencia de la vibración generada en el portaherramientas y/o una potencia registrada del transductor 20 ultrasónico.

Sobre esta base, los parámetros de mecanizado especificados se adaptan en la etapa S9. Esto puede incluir adaptar o cambiar la velocidad de avance de la herramienta y/o adaptar o cambiar la velocidad de corte o la velocidad de rotación de la herramienta durante el mecanizado de la pieza de trabajo.

Los parámetros se pueden adaptar como sigue: después de que se hayan registrado las señales de sensor de los elementos 40 sensores piezoeléctricos, se comparan, por ejemplo, con conjuntos de datos que incluyen señales de sensor de materiales conocidos correspondientemente que ya se han registrado.

Estos conjuntos de datos pueden comprender frecuencias de resonancia, por ejemplo, de una combinación de herramienta-material o una capacidad de amortiguación de un material, y son características de cada material conocido (como una especie de "huella dactilar"). Si, en este caso, se encuentra una coincidencia, se identifica el presente material, y los parámetros de procesamiento se pueden adaptar al material correspondiente en base a esto.

Si, por el contrario, hay un material desconocido, es posible estimar, a partir de las señales de los sensores detectados, de qué tipo de material se trata o qué grado de dureza y capacidad de amortiguación tiene este material y ajustar los parámetros de procesamiento en función de ello. De este modo, también es posible realizar determinaciones de materiales.

Para piezas de trabajo con una composición de material conocida, ya se pueden especificar diferentes parámetros de procesamiento o conjuntos de parámetros de procesamiento para diferentes materiales o capas de material de la pieza de trabajo, y cuando se detecta el cambio de material de la pieza en la posición de la punta de la herramienta, los parámetros de mecanizado de la misma se ajustan de acuerdo con los diferentes parámetros de mecanizado predeterminados o conjuntos de parámetros de mecanizado.

Sin embargo, si se determina en la etapa S8 que el cambio en el valor y de la señal del sensor correspondiente no ha excedido el valor límite definido y_{limit} , el procedimiento continúa con los parámetros de procesamiento sin

cambios.

La Fig. 4 muestra esquemáticamente un dispositivo según la invención con el que puede llevarse a cabo el procedimiento según la invención.

El dispositivo puede formar parte de una máquina 1000 herramienta. Se muestra un portaherramientas 10 con un elemento 40 sensor piezoeléctrico, cuya estructura corresponde, por ejemplo, al portaherramientas 10 mostrado en la Fig. 1. La herramienta 90 para el mecanizado ultrasónico de piezas de trabajo se aloja en el portaherramientas 10.

Un generador 120 emite una señal de trabajo A1 como señal de accionamiento para el accionamiento piezoeléctrico en el portaherramientas 10. La señal de trabajo A1 tiene la frecuencia de trabajo f_1 y se transmite con la potencia P1 a través del dispositivo 30 de transmisión de energía, que está diseñado como un transformador que consiste en el devanado 32 primario junto con el primer núcleo 31 de envoltura y el devanado 34 secundario junto con el segundo núcleo 33 de envoltura, sin contacto en el portaherramientas 10 giratorio. Además, el generador 120 emite una señal de prueba At con una potencia $P_t < P_1$, que se superpone a la señal de trabajo A1 y cuya frecuencia varía en un rango alrededor de f_1 .

Sobre la base de las señales A1 y At, el sistema de oscilación en el portaherramientas 10 se excita para oscilar, cuyo espectro de frecuencia presenta esencialmente dos frecuencias.

Debido a la oscilación del sistema oscilante, el elemento 40 sensor piezoeléctrico también oscila de la misma manera y genera así una señal A2 de sensor eléctrica que contiene la información sobre el espectro de frecuencia de la oscilación.

La señal del sensor A2 es leída, por ejemplo, sin contacto por un dispositivo 130 de lectura desde el portaherramientas 10 giratorio y se transmite a un dispositivo 140a de análisis a través de otro transformador, que consta de un devanado 62 primario que incluye un primer núcleo 61 de ferrita y un devanado 82 secundario que incluye un segundo núcleo 81 de ferrita.

El dispositivo 140a de análisis determina las frecuencias contenidas en el espectro de frecuencia de A2, de modo que, en un dispositivo para determinar la frecuencia 140b de resonancia, que se puede implementar como parte del dispositivo 140a de análisis, la frecuencia del pico más grande en el espectro (frecuencia principal) se puede asignar a la frecuencia de trabajo f_1 y la frecuencia del pico más pequeño en el espectro (frecuencia secundaria) se puede asignar a la frecuencia de resonancia f_2 . El dispositivo 130 de lectura, el dispositivo 140a de análisis y el dispositivo para determinar la frecuencia 140b de resonancia también pueden combinarse en dos dispositivos o implementarse como un solo dispositivo.

El valor de la frecuencia de resonancia f_2 determinada se transmite a un primer dispositivo 150 de control, que controla el generador 120 de tal manera que la frecuencia f_1 de la señal de trabajo A1 se adapta al valor de la frecuencia de resonancia f_2 .

Alternativa o adicionalmente, el valor de la frecuencia de resonancia determinada f_2 puede transmitirse a un segundo dispositivo 160 de control, que controla el generador 120 de modo que la potencia P1, con la que se irradia la señal de trabajo A1 al portaherramientas 10, aumenta a una potencia P1' para que la amplitud de oscilación mecánica se logre incluso con una excitación con $f_1 \neq f_2$, que se alcanzaría como la amplitud máxima con una excitación con la frecuencia de resonancia f_2 .

De esta manera, la amplitud de oscilación mecánica de la punta de la herramienta se puede estabilizar a cierto valor, lo que tiene un efecto positivo en la precisión durante el mecanizado con la herramienta 90. Si la amplitud de oscilación se estabiliza al valor máximo posible para una determinada potencia, también aumenta la eficiencia del mecanizado de la pieza.

Un usuario del dispositivo puede controlar el primer dispositivo 150 de regulación y/o el segundo dispositivo 160 de regulación a través de una interfaz 170 de usuario, de modo que la señal de trabajo A1 solo se adapte por orden del usuario o cuando se produzca una condición específica. El usuario también puede especificar que la señal de trabajo A1 se ajuste automáticamente a intervalos de tiempo regulares o irregulares en base a la última frecuencia de resonancia determinada f_2 .

El generador 120, el dispositivo 130 de lectura (o dispositivo de detección), el dispositivo 140a de análisis y el primer dispositivo 150 de control se pueden combinar para formar un dispositivo 200 para emitir señales de salida y recibir señales de entrada, en donde una primera señal de salida de este dispositivo 200 corresponde a la señal de trabajo, una segunda señal de salida corresponde a la señal de prueba At, y una señal de entrada corresponde a la señal del sensor A2.

En el ejemplo previamente mencionado, la vibración de la herramienta se puede regular a la frecuencia de resonancia respectiva del sistema de vibración. Si la frecuencia de resonancia regulada o la potencia asociada cambia cuando la herramienta o su punta de herramienta está en una interfaz entre dos materiales, esto puede

usarse, según ejemplos de realización de la invención, para detectar un cambio de material.

5 Por un lado, esto puede ser la detección de una interfaz entre dos capas de material en la pieza de trabajo, pero también puede ser una interfaz entre el material de la pieza de trabajo, por ejemplo, en el caso de inclusiones de aire, cavidades, perforaciones, etcétera, en la pieza de trabajo o también en la superficie de la pieza de trabajo (aire a la superficie de la pieza de trabajo), por ejemplo, para detectar el primer contacto con la pieza de trabajo.

Anteriormente, se han descrito en detalle ejemplos y ejemplos de realización de la presente invención y sus ventajas con referencia a las Figuras adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo (WS) en una máquina (1000) herramienta controlada numéricamente por medio de una herramienta (90), que comprende:
 - 5 - controlar un movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) para mecanizar la pieza de trabajo (WS),
 - generar una vibración ultrasónica de la herramienta (90) mediante un generador (20) ultrasónico,
 - detectar al menos una señal de sensor (A2) emitida por el generador (20) ultrasónico, y
 - detectar un cambio de material en la pieza de trabajo (WS) durante el control del movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) sobre la base de la al menos una señal de sensor (A2) emitida por el generador (20) ultrasónico,
- 10 en donde el control del movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) se lleva a cabo sobre la base de parámetros de mecanizado predeterminados,
- en donde, en la etapa de detección de un cambio de material en la pieza de trabajo (WS), también se detecta un cambio en el tiempo y, al mismo tiempo, un cambio en el valor de uno o más parámetros de la señal del sensor (A2) del generador (20) ultrasónico;
- 15 y en donde el procedimiento comprende, además:
 - determinar si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor (A2) del generador (20) ultrasónico cae por debajo de un tiempo de cambio predeterminado y al mismo tiempo excede un valor de cambio predeterminado, y
- 20 los parámetros de procesamiento predeterminados se adaptan si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor (A2) del generador (20) ultrasónico cae por debajo del tiempo de cambio predeterminado y, al mismo tiempo, excede el valor de cambio predeterminado.
2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque
- 25 la pieza de trabajo (WS) comprende al menos dos áreas de material diferentes, y en donde, en la etapa de detección un cambio de material en la pieza de trabajo (WS), se detecta una transición de la herramienta (90) de un área de material a la otra área de material de la pieza de trabajo (WS).
3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque
- la pieza de trabajo (WS) comprende un material compuesto, en particular un material compuesto reforzado con fibra de carbono, y/o un material de vidrio y/o de cerámica.
- 30 4. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2 o 3, caracterizado porque
- los áreas de material son capas de diferentes materiales o propiedades de los materiales;
- las áreas de material son inclusiones de material en la pieza de trabajo (WS); y/o
- las áreas de material son perforaciones y/o rebajes en la pieza de trabajo (WS).
5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, caracterizado porque,
- 35 en la etapa de detección de un cambio de material en la pieza de trabajo (WS), se detecta el contacto de la herramienta (90) con una superficie de la pieza de trabajo (90).
6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, caracterizado porque
- la adaptación de los parámetros de mecanizado comprende al menos una adaptación de una velocidad y/o de un avance del movimiento relativo de la herramienta (90).
- 40 7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, caracterizado porque
- el generador (20) ultrasónico es un sistema de actuador piezoeléctrico.
8. Dispositivo para su uso en una máquina (1000) herramienta para el mecanizado de una pieza de trabajo (WS) mediante una herramienta (90), en particular de acuerdo con una de las reivindicaciones anteriores, en donde la máquina (1000) herramienta comprende una unidad de control para controlar un movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) para procesar la pieza de trabajo (WS), un generador (20)
- 45

- ultrasónico para generar una vibración ultrasónica de la herramienta (90) y una unidad de detección para detectar en al menos una señal de sensor (A2) emitida por el generador (20) ultrasónico, en donde el dispositivo comprende una unidad de evaluación que está configurada para detectar un cambio de material en la pieza de trabajo (WS) durante el control del movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) sobre la base de al menos una de las señales de sensor (A2) emitidas por el generador (20) ultrasónico, y en donde la
- 5 unidad de evaluación, al reconocer el cambio de material en la pieza de trabajo (WS), detecta además un cambio en el tiempo y, simultáneamente, un cambio en el valor de uno o más parámetros de la señal del sensor (A2) del generador (20) ultrasónico; y
- en donde el dispositivo también está configurado para:
- 10 - determinar si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor (A2) del generador (20) ultrasónico cae por debajo de un tiempo de cambio predeterminado y al mismo tiempo excede un valor de cambio predeterminado, y
- adaptar los parámetros de procesamiento predeterminados si el cambio en el tiempo y el cambio en el valor de la al menos una señal de sensor (A2) del generador (20) ultrasónico cae por debajo del tiempo de cambio
- 15 predeterminado y al mismo tiempo excede el valor de cambio predeterminado.
9. Máquina (1000) herramienta para mecanizar una pieza de trabajo (WS) mediante una herramienta (90), que comprende:
- una unidad de control para controlar un movimiento relativo de la herramienta (90) con respecto a la pieza de trabajo (WS) para mecanizar la pieza de trabajo (WS),
- 20 - un generador (20) ultrasónico para generar una vibración ultrasónica de la herramienta (90), y
- una unidad de detección para detectar al menos una señal de sensor (A2) emitida por el generador (20) ultrasónico, caracterizada por un dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8.
10. Producto de programa informático con un programa informático almacenado en un medio de almacenamiento de datos legible por ordenador, que puede ejecutarse en una unidad de control numérico de una máquina (1000) herramienta controlada numéricamente o en un ordenador conectado a una unidad de control de una máquina (1000) herramienta controlada numéricamente, y que está configurada para ser utilizada en la máquina (1000) herramienta para realizar el procedimiento de acuerdo con una de las reivindicaciones 1 a 7.
- 25

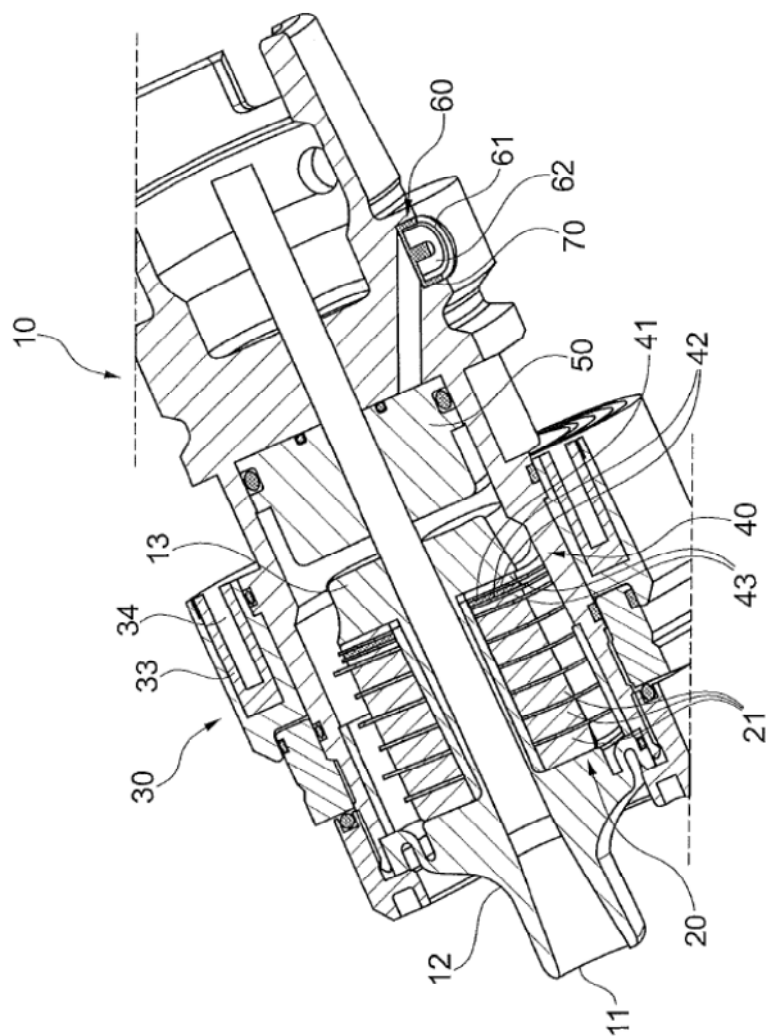


Fig. 1

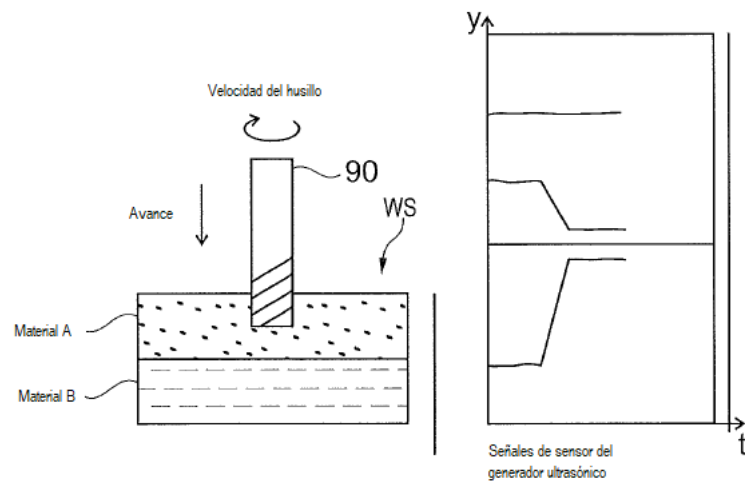


Fig. 2A

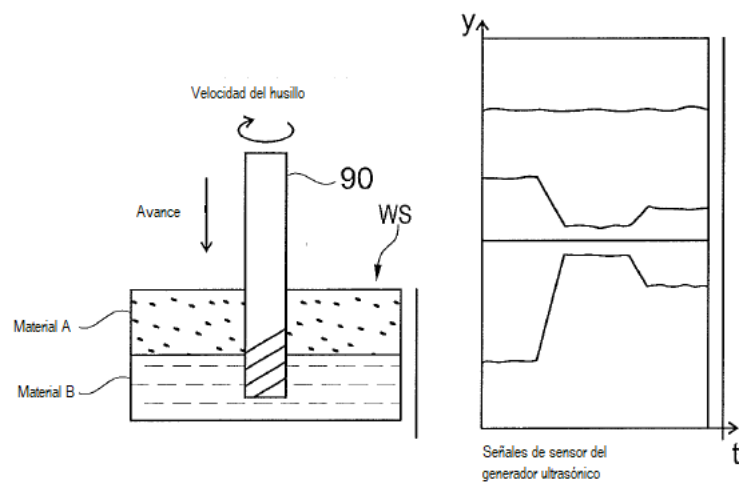


Fig. 2B

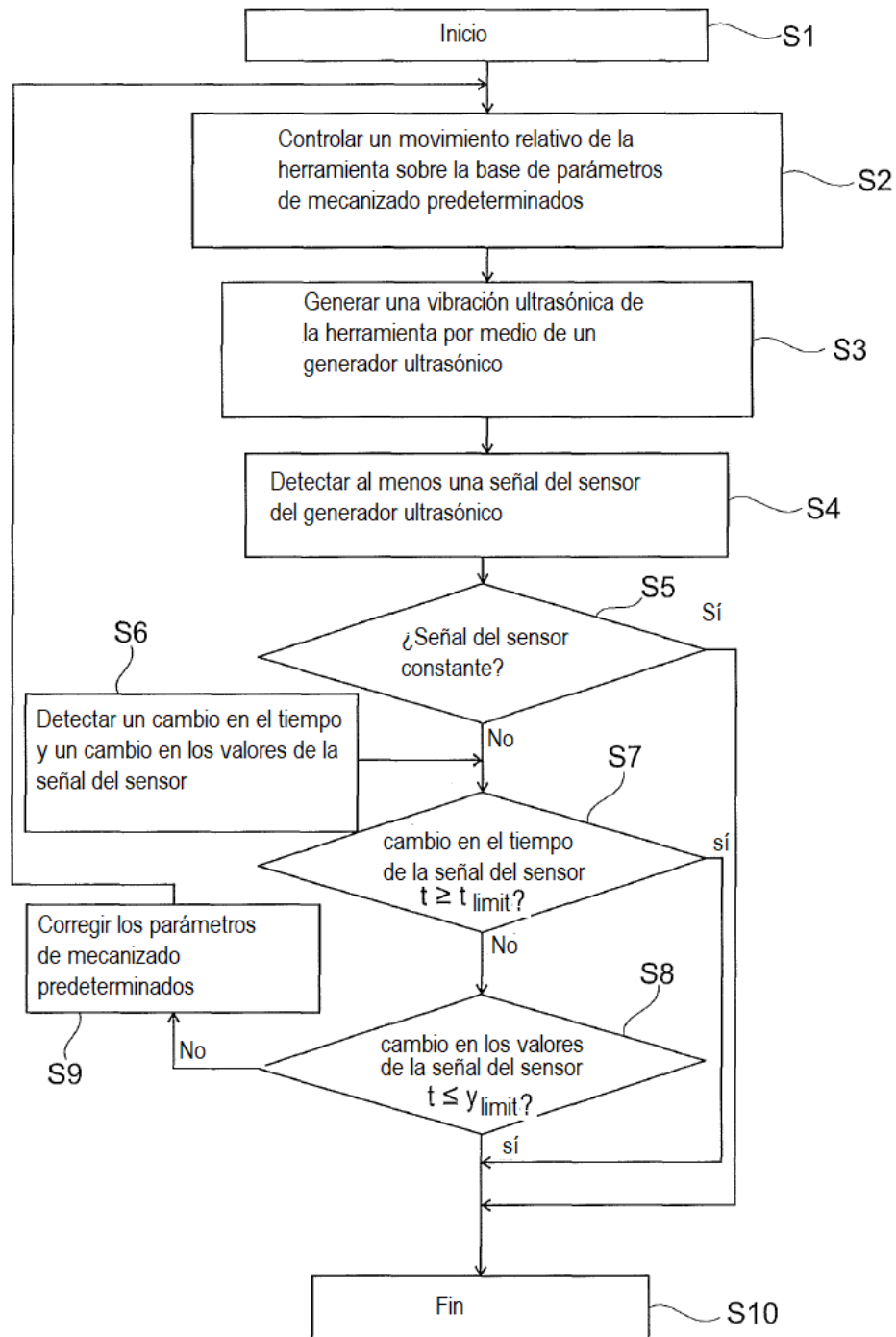


Fig. 3

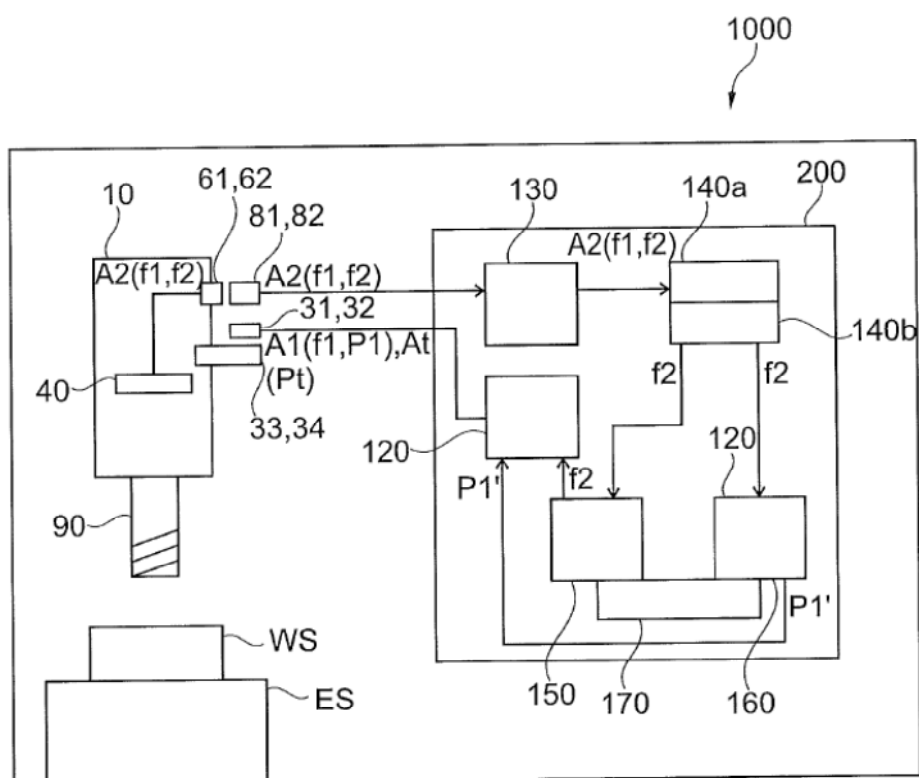


Fig. 4