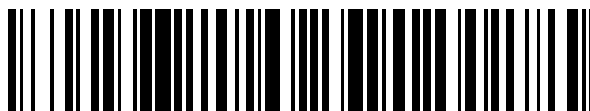


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 696 301**

15 Folleto corregido: T3

Texto afectado: Descripción

48 Fecha de publicación de la corrección: 14.03.2019

51 Int. Cl.:

**B23Q 17/09** (2006.01)

**G05B 19/4065** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA CORREGIDA

T9

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.02.2015** E 15153489 (8)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **13.06.2018** EP 2924526

54 Título: **Método de ajuste y/o control de los parámetros de funcionamiento de una máquina de procesamiento de piezas de trabajo**

30 Prioridad:

**11.03.2014 DE 102014103240**

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

**15.01.2019**

73 Titular/es:

**PRO-MICRON GMBH & CO. KG (100.0%)**

**Innovapark 20**

**87600 Kaufbeuren, DE**

72 Inventor/es:

**WUNDERLICH, RAINER, DR.;**

**LANG, MARTIN y**

**CARRÉ, LIONEL**

74 Agente/Representante:

**LINAGE GONZÁLEZ, Rafael**

ES 2 696 301 T9

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 de ajuste y/o control de los parámetros de funcionamiento de una máquina de procesamiento de piezas de trabajo

5

La invención se refiere a un método para establecer y/o supervisar los parámetros de funcionamiento de una máquina de procesamiento de piezas de trabajo.

En los procesos de fabricación modernos, las máquinas de mecanizado de piezas de trabajo para el mecanizado de una pieza de trabajo con un paso de mecanizado específico se instalan por primera vez y, tras una instalación satisfactoria en el proceso de producción en lo que se refiere a la secuencia de tratamiento fijada en los parámetros de funcionamiento, se utiliza continua y repetidamente para el mecanizado de un gran número de piezas de trabajo similares y tratadas uniformemente de la serie de producción con el paso de mecanizado configurado. Esto también se aplica en particular a máquinas mecanizadas de procesamiento de piezas de trabajo, para lo que esta invención está destinada particularmente. Se incluyen, en particular, las máquinas que taladren o fresen una pieza de trabajo, en el caso de fresado, tanto en profundidad como en línea, en superficie o similares. Los tornos también entran dentro de esta categoría de máquinas mecanizadas de procesamiento de piezas de trabajo.

Si se va a configurar un nuevo proceso para tales máquinas de procesamiento, por ejemplo para incluir una máquina de procesamiento por primera vez en la producción de una determinada pieza, la máquina se configura primero con respecto a los parámetros de funcionamiento, además de la selección de una herramienta adecuada, esto también incluye la parametrización de los valores y parámetros ajustables de la máquina, tales como la velocidad de rotación de un portaherramientas rotatorio en el que una herramienta seleccionada se mantiene fija rotando, y las velocidades de avance de la herramienta con respecto a la pieza en las posibles direcciones de trabajo, por ejemplo, en la dirección axial con respecto al eje de rotación del portaherramientas accionado rotatoriamente o en direcciones perpendiculares a este eje.

Para los tornos, estos parámetros no son solo la selección de la herramienta, sobre todo la velocidad del husillo de la pieza y el avance entre la herramienta y la pieza.

30

Por supuesto, los parámetros correspondientes se especifican de acuerdo con los requisitos establecidos por el paso de mecanizado que se va a llevar a cabo, por ejemplo, la forma predeterminada, por ejemplo, basada en la forma y el curso de una vía fresada que se va a insertar o en la dirección del curso y la profundidad del taladro que se va a perforar o la forma de la superficie a producir por torneado. Al mismo tiempo, sin embargo, también se tienen en cuenta otros detalles y condiciones límite, como el tiempo de procesamiento y, por lo tanto, el rendimiento de la máquina de procesamiento, con una parametrización adecuada, pero también se evitan las cargas excesivas sobre el material de la pieza, que pueden derivarse, por ejemplo, de velocidades de avance excesivas durante el procesamiento.

En la actualidad, la parametrización y la configuración adecuadas de las máquinas de procesamiento de piezas de trabajo se deja principalmente en manos de la experiencia y la capacidad profesional de un operador de máquina adecuado, que realiza la configuración y parametrización adecuadas basándose en sus conocimientos correspondientes, en las especificaciones generales del fabricante de la herramienta utilizada y con la ayuda de pruebas de puesta en marcha.

45

Además, cuando se configura por primera vez un proceso de mecanizado en una máquina de procesamiento de piezas, se observa regularmente el desgaste de la herramienta, en particular para definir los ciclos dentro de los cuales se deben sustituir las herramientas. Debido a que las herramientas que se desgastan más allá de un cierto límite, como taladros, herramientas de torneado o fresado, conducen por un lado a resultados de procesamiento deteriorados con respecto a la precisión de procesamiento, pero por otro lado también causan una posible pérdida total de la costosa herramienta, si por ejemplo los filos de corte se desgastan más allá de un nivel hasta el cual se podría haber reafilado la herramienta de fresado correspondiente. En este contexto, hoy en día cuando se instalan las máquinas de procesamiento de piezas se llevan a cabo una serie de ensayos con ciclos de procesamiento y una herramienta de prueba, y se observa el desgaste de la herramienta de prueba después de procesar un número específico de piezas, normalmente mediante inspección óptica, por ejemplo, bajo el microscopio, en parte con la medición de la geometría de la cuchilla modificada por el desgaste. Basándose en estas observaciones de desgaste, se realizan extrapolaciones de los rendimientos admisibles con una herramienta antes de que se haya desgastado más allá de un nivel aceptable y, por lo tanto, se determina la vida útil de una herramienta permitida para este proceso de mecanizado antes de que se deba sustituir.

60

Pero también es conveniente en los procesos productivos tras la instalación de la máquina de procesamiento para una producción en serie tener en cuenta los procesos y los parámetros de funcionamiento de la máquina de procesamiento de piezas, al menos con análisis aleatorios de stock.

- 5 En este contexto, es de especial interés hacer un seguimiento de hasta qué punto el proceso de mecanizado establecido en relación con los parámetros de funcionamiento se mantiene estable en la medida en que el resultado del proceso conduzca a una producción de piezas de trabajo mecanizadas con las mismas tolerancias y calidades de mecanizado. Al mismo tiempo, también es interesante determinar si una herramienta no está desgastada antes de tiempo o incluso dañada (por ejemplo, un filo de corte roto de una herramienta de fresado o torneado o similar) a
- 10 pesar de la vida útil especificada de la herramienta. También es deseable en principio, detectar otras anomalías en el funcionamiento de la máquina herramienta, como cambios en la propia máquina (por ejemplo, cojinetes desgastados, aumento del juego lateral no deseado en las guías lineales o similares). Por último, también es interesante poder detectar posibles errores en el proceso de mecanizado, tales como atascos de viruta causados por virutas de taladrado atascadas en una broca o similar, ya que tales incidentes también pueden tener un efecto
- 15 adverso en el proceso de mecanizado y también pueden suponer un riesgo para la valiosa herramienta.

Para algunas de las observaciones mencionadas anteriormente, las corrientes del motor de los motores de accionamiento, por ejemplo, un motor de accionamiento para el accionamiento rotativo del portaherramientas o un portapiezas (por ejemplo, un husillo giratorio), se supervisan con frecuencia en las máquinas de procesamiento de

20 hoy en día, y los pares u otras fuerzas que se producen se derivan de las cargas de corriente correspondientes. Si la corriente del motor aumenta de forma inesperada y desviándose de la norma se sospechan problemas que requieren un análisis más profundo. El problema con este enfoque, sin embargo, es la información comparativamente indiferenciada que puede derivarse del simple control de la corriente del motor. Debido al correspondiente aumento de la corriente del motor, el maquinista todavía no puede determinar la causa concreta del

25 fenómeno, por lo que, por regla general, es necesario un examen detallado del estado actual de la máquina de procesamiento y de la parametrización, lo que conduce a tiempos de inactividad y, por lo tanto, a pérdidas económicas. La medición de la corriente del motor con herramientas pequeñas y/o fuerzas de mecanizado reducidas también es demasiado imprecisa. Los momentos flectores que se producen en la herramienta no pueden medirse en absoluto a través de las corrientes del motor.

30 Una máquina de soldadura por fricción es también una máquina de procesamiento de piezas de trabajo, aquí con una herramienta rotatoria accionable, para la cual la invención también puede ser utilizada ventajosamente. También en este caso deben establecerse parámetros para la producción correspondiente, en particular para la producción en serie, y es deseable controlar el proceso durante la producción en curso, al menos sobre la base de una muestra

35 aleatoria, con el fin de garantizar la calidad uniforme de las soldaduras producidas con este dispositivo y esta máquina.

En la puesta en marcha de la máquina se plantean cuestiones similares, a saber, la parametrización de la máquina para el proceso de mecanizado correspondiente según las especificaciones del mecanizado más rápido posible (un

40 alto rendimiento), por un lado, pero por otro lado con la protección correspondiente de las piezas y, si es posible, también de la herramienta.

Del mismo modo, la invención también puede utilizarse en una máquina de soldadura por fricción, en la que un elemento adicional que debe fijarse a una pieza de trabajo mediante el proceso de soldadura por fricción, por

45 ejemplo un perno de soldadura, puede verse como una "herramienta" impulsada por rotación. Aquí, por tanto, el portaherramientas, contenido en la máquina procesadora de piezas de trabajo según la invención, puede ser entendido como un eje rotatorio accionable que recibe un elemento para ser soldado, por ejemplo un perno para ser soldado por soldadura de fricción.

50 En el estado de la técnica, se conocen procesos similares a la invención. DE 10 2008 064 391 A1, por ejemplo, describe un procedimiento de diagnóstico de la máquina en el que se registran y evalúan el par y los momentos flectores de un vehículo de motor para el funcionamiento de la máquina. Además, el documento WO 2008/142386 A1 describe un control del mecanizado en el que se registra y evalúa la fuerza axial.

55 Como se ha descrito anteriormente, existe el problema en el estado actual de la técnica de que, al configurar y supervisar los parámetros de funcionamiento correspondientes de una máquina de procesamiento de piezas de trabajo con un portaherramientas, solo se pueden hacer declaraciones indirectas acerca de las fuerzas y pares que se producen con la correspondiente parametrización, de modo que la correspondiente configuración y/o supervisión se ha basado hasta ahora en gran medida exclusivamente en la correspondiente experiencia del operador de la

60 máquina, que podría hacer uso de las correspondientes ayudas, por ejemplo, la medición y supervisión del consumo

de corriente de los motores de accionamiento. En particular, esto significa que, al configurar los parámetros de funcionamiento, no se ha alcanzado o no se puede alcanzar el óptimo de la correspondiente parametrización con respecto a las diversas condiciones límite, tales como, en particular, un mecanizado cuidadoso de la pieza, tiempos de intervención elevados y, por lo tanto, tiempos de mecanizado cortos y protección de la herramienta. También en lo que respecta a la precisión de la supervisión de los parámetros de funcionamiento, por ejemplo en lo que se refiere al desgaste de la herramienta, o a la detección de determinados errores y anomalías en el proceso de mecanizado, los métodos conocidos siguen siendo comparativamente inexactos. Este problema existe especialmente en el caso de los portaherramientas que pueden girar en torno a un eje de rotación, ya que la supervisión de los valores de medición registrados con los sensores de medición correspondientes es a menudo problemática.

Por lo tanto, la tarea de esta invención consiste en indicar aquí un enfoque que permita un análisis más preciso de las condiciones de funcionamiento para una instalación mejorada de la máquina de procesamiento de piezas de trabajo y sus parámetros de funcionamiento con vistas a una operación óptima, o que permita un control del proceso de mecanizado más preciso y mejor, por ejemplo en lo que se refiere al estado de la herramienta o también a la detección de determinadas anomalías, fallos o cambios en el sistema de la máquina de procesamiento de la pieza y de la herramienta utilizada.

Según la invención, esta tarea está resuelta por un método para establecer y/o supervisar parámetros operativos de una máquina de procesamiento de piezas de trabajo con las características de la reivindicación 1. Otras realizaciones ventajosas de la invención se indican en las reivindicaciones 2 a 15.

El método inventado para la configuración y/o el control de los parámetros de funcionamiento de una máquina de procesamiento se refiere en primer lugar a una máquina de procesamiento de piezas que dispone de un portaherramientas, así como de los medios para desplazar una pieza y el portaherramientas uno respecto al otro en la dirección de un primer eje. Los medios mencionados anteriormente pueden significar que el portaherramientas puede moverse linealmente en una dirección paralela al primer eje y que la pieza está parada en esta dirección. Del mismo modo, estos medios también pueden implementarse de tal manera que el portaherramientas descansa en relación con la máquina de procesamiento y un portaherramientas con la pieza alojada en él pueda desplazarse en esta dirección en relación con el portaherramientas, o combinaciones de estas dos posibilidades, en las que ambos elementos, portaherramientas y pieza de trabajo, puedan moverse activamente.

En el método de la invención, en el mecanizado del portaherramientas equipado con una pieza y en la toma de la pieza, los valores de al menos una de las siguientes variables medidas que se producen en la herramienta durante la interacción entre la herramienta y la pieza y que se transmiten al portaherramientas se registran para la secuencia de mecanizado:

a. una fuerza axial que actúa en la dirección paralela al primer eje.

Estos valores se registran especialmente por medio de los sensores de medición correspondientes en el portaherramientas, p. ej. galgas extensométricas, DMS, sensores SAW o similares. El portaherramientas puede ser un portaherramientas equipado con los sensores de medición adecuados o un portaherramientas de la propia máquina de procesamiento, o una pieza intermedia insertada en un portaherramientas de la máquina de procesamiento, que se sujeta en el portaherramientas de la máquina de procesamiento y que a su vez tiene un portaherramientas para la fijación rotativa y rígida de la herramienta, que sujeta el portaherramientas propiamente. En particular, el portaherramientas también se puede accionar en rotación alrededor de un eje de rotación paralelo o coincidente con el primer eje. Entonces tal pieza intermedia está conectada al portaherramientas de la máquina de procesamiento en una manera rotacionalmente fija con respecto al eje de rotación y está accionado consiguientemente de manera rotatoria. En otras palabras, el portaherramientas de acuerdo con la invención también puede ser realizado por un elemento diseñado como pieza de adaptador, en la cual tal pieza de adaptador entonces tiene los mencionados sensores.

La característica especial del proceso de la invención es que, en el caso de un portaherramientas que se pueda accionar rotatoriamente en relación con la entrada de valores para los parámetros de los momentos flectores o de los componentes de los momentos flectores, estos valores se miden desglosados según dirección y cantidad en un plano perpendicular al primer eje y, a continuación, se visualizan y evalúan en una representación de coordenadas correspondiente. Esto se puede hacer, por ejemplo, registrando la cantidad y el ángulo relativo a una dirección de referencia dada, que es particularmente estacionaria en relación con el portaherramientas (posiblemente giratorio). También es posible realizar esta medición según las componentes direccionales del momento flector en dos planos perpendiculares entre sí, en un plano correlacionado (eventualmente giratorio) con un portaherramientas

(posiblemente giratorio) y determinado de forma fija en relación con el portaherramientas, una de las cuales puede ser interpretada como la "dirección x", la otra como la "dirección y".

5 Para la evaluación de un gran número de pares de valores formados por valores de los momentos flectores o de las componentes del momento flector recogidos desde un momento de medición determinado  $t$  en la dirección  $x$  y en la dirección  $y$  y se recogen en un diagrama de coordenadas bidimensional en ángulo recto, en el que se registran los valores medidos de los momentos flectores o de las componentes del momento flector en la dirección  $x$  en un eje de coordenadas y los momentos flectores o componentes de momentos flectores en el eje  $y$  y se representan en un segundo eje de coordenadas y los pares de valores correspondientes forman puntos de representación en este  
10 diagrama de coordenadas.

Tal reproducción resulta en una multitud de puntos correspondientes en el diagrama de coordenadas, que finalmente resultan en una especie de nube de puntos o de datos después de un cierto período de tiempo. Dado que el sistema de coordenadas según el cual se miden los momentos flectores o los componentes del momento flector con  
15 respecto a su valor está fijado en el portaherramientas, en el sistema de coordenadas se obtiene una imagen correlacionada con el contorno de la herramienta, incluso si la dirección de los momentos flectores que se producen también se tiene en cuenta asignando un signo (positivo para una primera dirección y negativo para la dirección opuesta). Si, por ejemplo, se fija un portaherramientas de cuatro filos en un portaherramientas giratorio se producen momentos flectores más altos en los bordes de corte cuando entran en contacto con la pieza de trabajo, y un  
20 momento flector reducido en la parte posterior de los bordes de corte cuando pasan los flancos inclinados. Esto da como resultado una imagen de los filos de corte correspondientes en este ejemplo, como se muestra en el número cuatro de la representación anterior. Dependiendo de la tensión en la herramienta, hay entonces una correspondiente "distorsión" de esta imagen con una mayor expansión y extensión en el diagrama de coordenadas a mayores cargas de momento flector y una representación correspondientemente comprimida o comprimida a  
25 menores cargas de momento flector. Además, con una herramienta típicamente simétrica, la imagen en tal representación es también clásicamente simétrica, y se pueden sacar conclusiones de las asimetrías que ocurren, por ejemplo, en asimetrías no uniformes, desgaste de los filos de la herramienta, un filo de corte roto, una posible sujeción no exactamente recta de la herramienta y similares.

30 Además de los valores de las variables de medición momentos flectores o componentes de momentos flectores por dirección y magnitud, también se pueden registrar los valores de las siguientes variables de medición:

- b. un par de torsión aplicado en relación con el primer eje o un eje paralelo al primer eje;
- c. momentos flectores o componentes de momentos flectores según dirección y magnitud.

35 Si, según lo previsto en una posible realización adicional, el portaherramientas puede ser conducido en rotación sobre un eje de rotación, entonces es paralelo al primer eje  $y$  - si se tiene en cuenta - el par en relación con el eje de rotación se considera como la variable medida de acuerdo con el punto b. de la enumeración anterior.

40 De acuerdo con la invención, los valores determinados para al menos una variable medida se utilizan para ajustar los parámetros de funcionamiento para lograr un tiempo de mecanizado ajustado que es más corto que el tiempo de mecanizado máximo con respecto a una vida útil prolongada de la herramienta utilizada y/o supervisar el proceso de mecanizado con vistas a la reproducibilidad y/o el desgaste de la herramienta y/o un error de máquina de la máquina de mecanizado de la pieza.

45 Por lo tanto, el método basado en la invención establece que las fuerzas y/o momentos que ocurren en el portaherramientas mismo durante el mecanizado de la pieza de trabajo son medidos por una fuerza de reacción correspondiente de la herramienta y utilizados para una evaluación y para establecer y/o supervisar los parámetros operativos de la máquina de mecanizado de la pieza de trabajo para un proceso de mecanizado basado en esto. Los  
50 datos obtenidos de esta manera también se pueden utilizar para acortar el tiempo de mecanizado al configurar los parámetros de funcionamiento, por ejemplo, durante una ejecución de prueba como parte de un procedimiento de configuración para configurar la máquina de procesamiento, en la que una fuerza axial y/o un par aplicado y/o los momentos flectores registrados o los componentes del momento flector se utilizan en cualquier punto del proceso de mecanizado para indicar un ataque de la herramienta a la pieza durante el mecanizado de la pieza.

55 Por ejemplo, en el caso de una herramienta de fresado, se puede detectar cuando y opcionalmente también en qué medida una cuchilla actúa realmente sobre la pieza eliminando material, ya que en este momento se observará un par mayor o, en caso de distancia en la dirección axial del portaherramientas entre el portaherramientas y la pieza, una fuerza de reacción axial correspondiente o, en el caso de distancia entre el portaherramientas y la pieza en una  
60 dirección transversal a esta dirección axial, las partes correspondientes de los momentos flectores se hacen visibles

transversalmente al eje longitudinal y también al eje de rotación de la herramienta.

Por lo tanto, se puede dar una correspondiente optimización, el proceso de mecanizado puede parametrizarse de tal manera que se determinen los tiempos más largos posibles de una carga correspondiente dada (aparición de pares de torsión más elevados, aparición de fuerzas axiales superiores a un umbral o aparición de momentos flectores superiores a un tamaño mínimo). Aquí se pueden registrar y tener en cuenta todas las variables de medición mencionadas y los valores relacionados, dependiendo de la herramienta específica o de la máquina de procesamiento de piezas de trabajo que se utilice en este caso con la ayuda de la tecnología de la invención, pero solo se puede tener en cuenta una o dos de las variables de medición mencionadas.

10

Además, o alternativamente, durante el montaje también se puede tener en cuenta un procedimiento adecuado que sea lo más cuidadoso posible con las herramientas. En los procesos de mecanizado correspondientes, las herramientas utilizadas son a menudo caras, por lo que la vida útil de la herramienta es un factor de coste significativo. Si una herramienta está sometida a un esfuerzo excesivo, su vida útil se reduce para que pueda ser sustituida antes. Por un lado, esto significa que las herramientas se inutilizan antes y tienen que ser sustituidas por una nueva herramienta, con los correspondientes altos costes de adquisición. Por otro lado, esto también reduce los tiempos de funcionamiento continuo de la máquina de procesamiento, que debe detenerse en intervalos más cortos para reequipar las herramientas. Esto se asocia con pérdidas de producción que también tienen un impacto económico.

15

También para una utilización mayor de la herramienta, las medidas de mantenimiento que deben realizarse en la herramienta, como el afilado de una herramienta de fresado en los bordes de fresado o el afilado de los bordes de corte de una broca, son complejas y costosas, por lo que una vida útil más larga de la herramienta y secciones más largas entre las medidas de mantenimiento que deben llevarse a cabo son de importancia económica.

20

Con el método de la invención se pueden tomar las medidas adecuadas registrando una, dos o todas las magnitudes de medición mencionadas en los puntos a. a c. en relación con sus valores durante una prueba del proceso de mecanizado y evaluando los valores de estas magnitudes de medición, por ejemplo, con el fin de ajustar una fuerza máxima para la fuerza axial, que indica una carga reducida de la herramienta, por ejemplo de una broca, o, por ejemplo en el caso de una fresa, para ajustar los pares y/o momentos flectores admisibles a un valor máximo y para parametrizar el proceso de forma que no se superen los valores máximos. Esta es una ventaja particular del método de la invención, ya que no era posible una resolución correspondiente de las observaciones y de las variables medidas registradas, ni un análisis exacto de la tensión sobre la herramienta utilizada.

25

Al configurar el proceso de mecanizado, el operador de la máquina buscará un compromiso entre una carga de herramienta compatible, por un lado, y un rendimiento requerido económicamente, es decir, una alta velocidad de mecanizado, por otro. Con las magnitudes de medición a. a c. y los valores registrados para cada una de ellas, ya sea individualmente o en combinación de dos o en total, puede realizar un ajuste y una optimización de proceso adecuados y de forma excelente, según el proceso inventado. Al configurar el proceso de mecanizado, el operador de la máquina puede proceder de la siguiente manera, por ejemplo:

35

En primer lugar, puede evaluar un proceso de mecanizado preajustado, que se ha ejecutado en una ejecución de prueba, con respecto a los valores medidos con respecto a los estados de mecanizado que han sido declarados inválidos, es decir, con respecto a tales estados de mecanizado, por ejemplo, en los que un valor para al menos una de dichas variables de medición excede un valor máximo predeterminado, lo que, por ejemplo, indica una carga de herramienta excesivamente alta, pero también como una carga inaceptablemente alta para la pieza a mecanizar y su material. En este caso, el operador de la máquina reajustará primero su máquina de procesamiento de tal manera que en una nueva ejecución de prueba ya no se puedan encontrar los estados de procesamiento definidos como no permitidos.

40

En un paso posterior, el proceso de mecanizado se puede optimizar aún más dentro del rango permitido utilizando los valores medidos determinados en posteriores ensayos realizando un ajuste más preciso para que, por un lado, se preste atención a un largo tiempo total de agresión de la herramienta (es decir, una optimización como la descrita anteriormente con respecto a las fuerzas (de reacción) y los momentos que se producen durante una agresión o una intervención de la herramienta) y, por lo tanto, se consiga un tiempo de mecanizado rápido, lo que garantiza un alto rendimiento de la máquina, y, por otro lado, se consiga un esfuerzo de la herramienta tan uniforme y dentro de los límites especificados como sea posible. En un paso posterior, el operador de la máquina puede opcionalmente determinar el tiempo de referencia del tiempo de vida de la herramienta tras el cual se debe sustituir la herramienta de mecanizado en la máquina. En una fase posterior de ampliación, también es posible integrar un sistema experto que libera al operador de la máquina de al menos una parte de la interpretación de los valores medidos y, si es

45

50

55

60

necesario, hace sugerencias para mejorar el proceso.

5 Pero también en lo que se refiere a la supervisión del proceso de mecanizado, que se lleva a cabo en la parametrización de la máquina de procesamiento, se puede utilizar con ventaja el método de la invención, que prevé el registro de valores medidos para al menos una de las variables de medición nombradas. De este modo, se puede realizar una supervisión adecuada del proceso.

10 Las mediciones realizadas durante la puesta a punto de la máquina de mecanizado se repiten de forma aleatoria, por ejemplo, para determinar, mediante la comparación de los valores medidos, si es necesario reajustar los parámetros de funcionamiento, por ejemplo, porque el proceso ha "migrado", o si hay desgaste de la herramienta o del sistema en la máquina de mecanizado.

15 Esta comparación también se puede realizar respecto a un "proceso de referencia" realizado durante o después de la instalación, en el que la parametrización de la máquina correspondía a las especificaciones determinadas y el resultado del proceso cumplía con las expectativas y requerimientos.

20 En el método de acuerdo con la invención, en particular determinando los momentos flectores, pero también sobre la base de otros valores medidos es posible reconocer cambios o problemas en la máquina, tales como campos rechazados, movimientos en las guías lineales, etc.

25 Así, en portaherramientas que pueden ser opcionalmente de accionamiento rotatorio, como en fresadoras, taladradoras, soldadoras de fricción o soldadoras de agitación por fricción, por ejemplo, se pueden detectar fenómenos similares por un desequilibrio en la rotación de la herramienta que, a su vez, puede determinarse mediante una asimetría de la distribución del momento flector a lo largo de la rotación de la herramienta, que no puede observarse en condiciones normales de la máquina.

30 En este respecto, para el procedimiento de acuerdo con la invención, una observación de las mencionadas variables, en particular el momento torsor sobre el eje de rotación y/o los momentos flectores (ver b. y c. arriba), ya puede ser observado en la herramienta que rota y sin agresión a la pieza de trabajo.

35 Un desequilibrio en la rotación de la herramienta determinado de forma correspondiente también se puede utilizar para detectar una herramienta insuficientemente equilibrada, una herramienta dañada a lo largo de su perímetro (por ejemplo, después de una rotura del filo de corte) o una herramienta sujeta de manera mal alineada.

40 Para poder seguir un desarrollo o dinámica de los valores medidos a lo largo del tiempo en una representación característica de la invención en el sistema de coordenadas fijado a la herramienta, la representación en el diagrama de coordenadas se realiza como se especifica en la reivindicación 5.

45 De acuerdo con esto, se recogen los pares de valores que están dentro de un intervalo de tiempo  $\Delta t_1$  con una frecuencia de muestreo significativamente inferior al intervalo de tiempo  $\Delta t_1$  y estos pares de valores se muestran en el diagrama de coordenadas. Por la frecuencia de muestreo se entiende aquí la distancia entre dos mediciones de modo que, dentro del intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , un valor suficiente de número de mediciones puede recogerse para obtener una imagen significativa en el diagrama de coordenadas. El intervalo de tiempo  $\Delta t_1$  se elige pensando en que ese procesamiento, con parametrización continua, se lleva a cabo con los parámetros relevantes en cuanto a la carga, en particular la velocidad y dirección de avance entre la herramienta y la pieza constantes y, en caso de un portaherramientas accionado rotacionalmente, con la misma velocidad de rotación. La frecuencia de muestreo en particular, se elegirá teniendo en cuenta la duración del intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , de modo que, dentro de este tiempo, se registre una cantidad suficiente de datos para una representación significativa. Después de que se registre la primera representación cuando finalice el intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , aparecerá una nueva representación en otro diagrama de coordenadas vacío para un nuevo intervalo de tiempo  $\Delta t_2$ , donde se registran las mediciones y los pares de valores que se encuentran dentro de él, esto con una frecuencia de muestreo significativamente inferior al intervalo de tiempo  $\Delta t_2$ . Aquí, también, el intervalo de tiempo  $\Delta t_2$  está elegido de manera que permita el procesamiento con parametrización continua de la máquina de procesamiento, en particular con la misma parametrización que en el intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ . Después de la realización de esta medición de valores para la representación, pueden hacerse otras representaciones correspondientes, de modo que de una comparación de las representaciones sucesivas se puede concluir un desarrollo dinámico de las condiciones de funcionamiento, en particular respecto al estado de la herramienta. Si hay algún cambio en las representaciones, si, por ejemplo, los momentos flectores aumentan, esto puede atribuirse a un desgaste de la herramienta, por ejemplo, una herramienta de fresado que está roma.

60

Sin embargo, también es concebible configurar el intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , durante el cual los valores descritos anteriormente se incluyen y se representan, en una fase del proceso de mecanizado, en la que la parametrización del proceso es conscientemente dinámica, por ejemplo, en el que se cambia la velocidad de rotación de un portaherramientas de accionamiento giratorio, por ejemplo, se aumenta, la velocidad de avance o la dirección de avance cambiará. Allí se crean imágenes de los momentos flectores que reflejan esta dinámica. También a partir de una evaluación de tales representaciones, por ejemplo, comparándolas con una imagen, que se grabó para el mismo paso del proceso en un proceso de referencia previamente realizado y documentado en la máquina de procesamiento de piezas durante el mecanizado de una pieza similar con la misma herramienta, cualquier error o mal funcionamiento, por ejemplo, el desgaste de la herramienta o un desgaste o defecto en la máquina de procesamiento, puede deducirse en una fase temprana.

Este tipo de representación y evaluación puede utilizarse no solo para herramientas en procesos de mecanizado de arranque de viruta, sino también para aplicaciones en la soldadura por agitación por fricción o en la soldadura por fricción pura, donde, por ejemplo, una herramienta provista de un contorno exterior circular en la sección transversal produce una imagen circular correspondiente en la representación descrita anteriormente y desviaciones de la forma circular permite deducir una anomalía no deseada en el proceso de mecanizado, por ejemplo, una fijación oblicua, es decir, inclinada, del elemento a soldar, de acuerdo con la invención.

En consecuencia, como se indica en la reivindicación 6, de las representaciones del diagrama de coordenadas, en particular de las cargas en las secciones periféricas individuales de una herramienta dispuesta en el portaherramientas, por ejemplo, girando sobre el eje de rotación, se pueden deducir o seleccionar las cargas correspondientes.

Como ya se ha mencionado al principio, el ajuste puede realizarse de tal manera que se reduzcan esas cargas seleccionadas, por ejemplo, para mantener la carga de la herramienta lo más baja posible. Del mismo modo, como ya se ha mencionado, el desgaste de la herramienta se deduce de estas cargas y de un aumento observado de las mismas, por lo que se pueden definir aquí las cargas máximas que se consiguen en el proceso de mecanizado especificado, y cuando se superan o cuando se alcanza el desgaste de la herramienta, el desgaste de la herramienta se puede considerar como máximo tolerable y se puede disponer un cambio de herramienta.

Si, como ya se ha comentado anteriormente, la representación de los puntos de medición en el diagrama de coordenadas se desvía de la imagen esperada, si es particularmente asimétrico, es ventajoso concluir que hay una anomalía en el proceso de mecanizado que puede ser visualmente mostrada al operador de la planta, que dispara automáticamente una advertencia correspondiente o que puede ser archivada con fines de documentación.

Sin embargo, una evaluación de los datos determinados para los momentos flectores puede llevarse a cabo no solo por una orden resuelta direccionalmente como se describió anteriormente, sino también por una orden de la cantidad no registrada por la presente invención de la suma vectorial resultante de todos los momentos flectores a lo largo del tiempo.

El vector resultante, antes de que se forme un valor absoluto o las contribuciones individuales, antes de su adición vectorial puede proyectarse en una superficie perpendicular al primer eje para tener solo en cuenta la cantidad resultante del momento flector que actúa en la dirección perpendicular al primer eje.

Un examen de este tipo puede detectar anomalías, por ejemplo, momentos flectores inadmisiblemente altos que, por ejemplo, se sitúan por encima de un valor límite previamente determinado y sirven como indicación de una carga excesiva de la herramienta al ajustar la máquina de acuerdo con los parámetros de funcionamiento o también como indicador de un desgaste de la herramienta superior a un nivel admisible en el caso de que acompañe al proceso.

Esta evaluación también puede revelar anomalías que, por ejemplo, indican procesos de producción inadecuados y, por lo tanto, una desviación del resultado del mecanizado de la pieza respecto a la especificación.

Durante la configuración, sin embargo, también se puede determinar un valor mínimo para la suma vectorial de los momentos flectores, que es una agresión para la herramienta en la posición y, por lo tanto, un proceso real de remoción de virutas, que debería superarse, si es posible, en una gran parte del proceso de mecanizado. Si además se tiene en cuenta el componente direccional del momento flector en una representación como la descrita anteriormente, esto también se puede dar, por ejemplo, en el caso de una herramienta de fresar, también se puede tener en cuenta el afilado de herramientas individual u otras secciones del proceso de la herramienta de manera resuelta, y en consecuencia se puede acometer una adaptación de los parámetros y la configuración.

En el marco del proceso de la invención, también en particular es posible y aporta una formación adicional ventajosa



al contenido, si a partir de los valores registrados de la(s) variable(s) medida(s) y de una geometría per se conocida de la herramienta de trabajo utilizada, así como de las propiedades per se conocidas del material de la misma y, además, a partir de una posición per se conocida de la herramienta en el portaherramientas, por ejemplo, en el contexto del software de funcionamiento y control de la máquina de procesamiento, se deducen aritméticamente los movimientos evasivos y/o las deformaciones de la herramienta en una posición de las secciones de mecanizado de la misma. Para ello, por ejemplo, se pueden utilizar simulaciones matemáticas para deducir deformaciones o movimientos evasivos de la herramienta a partir de valores medidos con los sensores de medición de fuerzas y/o pares (momentos de torsión y/o flexión) que actúan sobre la herramienta, teniendo en cuenta los datos sobre la geometría de la herramienta, las propiedades del material del que consiste la herramienta, así como la sujeción y el posicionamiento exactos de la herramienta en el portaherramientas.

De esta forma, al configurar un proceso de mecanizado, por ejemplo, se puede tener en cuenta un movimiento y cambio de posición correspondiente de las secciones de mecanizado de la herramienta; para mantener la precisión, la máquina de procesamiento puede especificar los movimientos de ajuste correspondientes. También es posible mantener un límite de tolerancia durante el mecanizado mediante la monitorización de los parámetros. Si los valores determinados cambian aquí, se puede emitir un aviso. Sin embargo, los datos determinados de esta manera para un cambio de posición de las secciones de mecanizado de la herramienta también pueden utilizarse como datos de control para generar los correspondientes movimientos de ajuste in situ durante el mecanizado en curso.

Esto es particularmente ventajoso para tolerancias particularmente estrechas, como se requiere, por ejemplo, en la fabricación de herramientas. Este procedimiento también es importante si, por ejemplo, para el mecanizado de cavidades profundas o gargantas, se utilizan herramientas de filigrana con vástago largo, que reaccionan de forma más sensible a las fuerzas de cizallamiento.

Esto es aún más cierto si, por ejemplo, la cuchilla de las herramientas de corte se vuelve roma y, por lo tanto, el mecanizado requiere mayores fuerzas.

Si se determinan los valores de la fuerza axial, pueden compararse con respecto a una fuerza axial límite definida como máxima admisible. Por ejemplo, si el proceso de mecanizado se supervisa durante el funcionamiento (de forma permanente o aleatoria), la fuerza límite puede definirse como la que se produce con una herramienta desgastada hasta el límite máximo permitido. Si esta fuerza de límite es entonces alcanzada o incluso excedida, esto puede ser tomado como el detonante para un cambio de herramienta en la secuencia de proceso de acuerdo con la invención. En el caso de un ajuste del proceso de mecanizado, la fuerza límite se puede definir de tal manera que indique una carga máxima admisible de la herramienta, de forma que en el proceso de ajuste no se exceda dicha fuerza límite.

Al mismo tiempo, sin embargo, también puede determinarse un límite inferior para la fuerza axial, por encima del cual la fuerza axial debería moverse preferiblemente al configurar el proceso de mecanizado, por ejemplo, para garantizar que el proceso de mecanizado se lleva a cabo a una velocidad de mecanizado económicamente razonable y, por lo tanto, con un rendimiento adecuado.

Del mismo modo, al llevar a cabo el proceso inventivo, y dependiendo del tipo de máquina y de las operaciones de mecanizado llevadas a cabo con ella, puede tener sentido dentro del alcance de la invención determinar al menos los valores para el par de torsión y hacer una comparación con respecto a un par límite definido como el par máximo permisible. También en este caso, al supervisar el proceso de mecanizado (de forma continua o aleatoria), se puede determinar el par límite como tal, que se produce con una herramienta desgastada hasta el límite máximo permitido. Una vez más, es posible definir el par límite como tal para la configuración del proceso de mecanizado, que se produce con la carga máxima admisible de la herramienta. Aquí también es posible determinar un par mínimo, especialmente durante la configuración del proceso de mecanizado, que es preferiblemente permanente, pero al menos en grandes proporciones del tiempo de mecanizado, para acortar el tiempo de procesamiento y aumentar el rendimiento de la máquina de procesamiento.

Además del movimiento axial del portaherramientas respecto a la pieza de trabajo mediante las posibilidades de movimiento correspondientes en la dirección del primer eje, la máquina de procesamiento también puede disponer de medios para desplazar la pieza y el portaherramientas linealmente en al menos una dirección perpendicular al primer eje. Especialmente en este caso, la observación de los momentos flectores es de especial interés, ya que las correspondientes tensiones de flexión se producen transversalmente al eje de rotación cuando el portaherramientas se mueve de forma correspondiente en relación con la pieza de trabajo. Este es el caso, por ejemplo, de las operaciones de fresado, en parte de las operaciones de torneado, pero también de la soldadura por fricción.

De nuevo, tendría que ser anotado que los mencionados medios pueden proporcionar tanto un movimiento activo del portaherramientas a la pieza de trabajo estacionaria, un movimiento activo de la pieza de trabajo al portaherramientas, o una combinación de estos movimientos.

- 5 En el proceso de la invención, el registro de los valores de al menos un valor de medición, es ventajoso transmitir los valores de un sensor de medición a un dispositivo de evaluación, por lo que esta transmisión se realiza de forma inalámbrica en al menos una sección. Esto es particularmente relevante y ventajoso si el portaherramientas se puede accionar en rotación. Esto se debe a que una transmisión por cable de los valores medidos, que se registran en un portaherramientas en movimiento rotatorio, a un dispositivo estacionario en el que se realiza la evaluación, no se puede realizar allí o solo con gran esfuerzo. En particular, un sistema de medición como el descrito en la patente US 8.113.066 B2 puede utilizarse para el registro correspondiente de los valores medidos. El sistema de medir mostrado allí, el cual está diseñado como un adaptador sujeto para un portaherramientas de una máquina de procesamiento con una pieza adicional para sujeción en el portaherramientas de la máquina de procesamiento y un portaherramientas y un orden de sensores de medición arreglados entre ellos, es idealmente adecuado para llevar a cabo el proceso de la invención, ya que puede determinar las variables medidas para ser utilizadas aquí y registrar valores correspondientes para éstos.

20 Debe quedar claro aquí una vez más que aunque algunas de las variables de medición o sus valores de medición descritos anteriormente con los puntos a. a c. pueden ser usados como base para la evaluación del procesamiento, que en particular también una combinación de valores de medición para dos o incluso las tres variables de medición conduce a resultados particularmente válidos, por lo que una mayor confiabilidad y exactitud de las afirmaciones puede ser lograda verificando una condición determinada a través de una de las variables de medición o los valores de medición asociados a través de los valores de medición para una segunda de las variables de medición.

25 También es posible incluir otros parámetros en el análisis de estado y como base para la configuración y/o el control de la máquina de procesamiento de piezas, por ejemplo una temperatura medida de la herramienta o de la pieza. De este modo, por ejemplo, un aumento de la temperatura en la herramienta también se puede utilizar para sacar conclusiones sobre una alta tensión no permitida en una herramienta (por ejemplo, al configurar el proceso) o sobre el desgaste avanzado de la herramienta. Es por ejemplo posible y la base para una formación posterior ventajosa de la invención, si por lo menos mediante un sensor de temperatura en el portaherramientas y/o una herramienta aguantada en él se mide la temperatura de herramienta y se correlaciona con los valores registrados para la variable medida(s). Porque la carga admisible de una herramienta también depende entre otros factores de su temperatura. En el caso de temperaturas que superan un umbral crítico, la capacidad de carga suele disminuir. De esta manera, los valores de temperatura ya se pueden tener en cuenta al configurar la máquina de procesamiento. Sin embargo, también se pueden utilizar como parte de otro proceso de monitorización incluyéndose en la evaluación, lo que permite un ajuste de los parámetros de funcionamiento también teniendo en cuenta este aspecto.

Además, está dentro del alcance de la invención si, los valores determinados para al menos una variable medida y/o las evaluaciones derivadas de ella concernientes al cumplimiento de los valores límite previamente definidos para cada ejecución de procesamiento son archivados y almacenados en un registro de procesamiento. Se puede realizar una asignación a las piezas mecanizadas en el transcurso de los procesos de mecanizado registrados de esta forma para poder demostrar que han sido mecanizadas correctamente y de acuerdo con las especificaciones. Esto puede realizarse mediante una asignación 1:1 de una pieza de trabajo identificada por separado e (por ejemplo, mediante un número de serie) individualizada al ciclo de mecanizado o mediante una asignación por lotes de registros de mecanizado a un lote de piezas de trabajo. Estas pruebas son a menudo necesarias en la práctica de producción actual, por ejemplo, en el ámbito de los proveedores de la industria automovilística. Anteriormente, solo se podían suministrar datos indirectos que mostraran una secuencia de programa adecuada en la máquina de procesamiento. Mediante la asignación de protocolos de medición reales a al menos uno de los valores de medición, especialmente ventajoso en el caso de momentos flectores, que aquí son posibles, se ha conseguido una mejora considerable.

50 Si, según lo previsto por otro diseño ventajoso de la invención, sobre la base de las hojas de datos de los fabricantes o, proveedores, normalmente disponibles, incluso a menudo datos suministrados digitalmente, sobre la geometría de la herramienta, las propiedades del material de la herramienta, la geometría y las propiedades del material de la pieza de trabajo, así como sobre la sujeción y el posicionamiento de la herramienta en el portaherramientas, que pueden leerse en el equipo de una máquina de procesamiento controlada digitalmente, y sobre la base de los valores determinados para al menos una variable medida para determinar las fuerzas de tensión normalizadas que se producen realmente durante el proceso de mecanizado, aquí se puede hacer una comparación con las especificaciones relevantes de una carga permisible en la herramienta, que el fabricante cumple y que se puede encontrar típicamente en las hojas de datos que se entregan junto con las mismas para poder realizar una estimación especialmente precisa de los parámetros de funcionamiento admisibles de la máquina de procesamiento,

así como de los parámetros de funcionamiento de la máquina de procesamiento, pero también de los parámetros de un proceso de mecanizado resistente al desgaste y de alto rendimiento, en el caso de un proceso de mecanizado de gran volumen, poder establecer los parámetros de funcionamiento que sean ventajosos, y, en caso necesario, reajustar los parámetros en el marco de un dispositivo de la secuencia de mecanizado o en el curso de un control durante la producción en curso.

Para detectar ciertos fenómenos periódicos, tales como oscilaciones en el sistema, los valores medidos determinados también pueden ser sometidos a los correspondientes análisis de transformación, tales como una transformación de La Place, una transformación de Fourier o una transformación rápida de Fourier (FFT), en un análisis posterior. En particular, los errores de la máquina pueden deducirse del comportamiento de vibración detectado, ya que una "evasión" inadmisibles de la máquina contra las fuerzas de reacción que se producen y que deben ser absorbidas por la mecánica de la máquina, por ejemplo, debido a daños en los rodamientos, como un juego de rodamientos en el portaherramientas giratorio (por ejemplo, un husillo de herramienta), un juego lateral excesivo en las guías lineales, pero también un diseño demasiado débil de la máquina, puede atribuirse a menudo al comportamiento oscilante. Las condiciones de vibración también deben evitarse desde el punto de vista de una manipulación cuidadosa de la herramienta, ya que en el caso de tales vibraciones la herramienta está expuesta a picos de fuerza y carga elevados.

Del procedimiento de la invención, en el caso de la monitorización, también se pueden sacar conclusiones a partir de los valores observados para las variables medidas con respecto a las características especiales de la pieza de trabajo del procedimiento inventivo. Por ejemplo, los cambios bruscos en los momentos flectores o los pares de torsión observados durante el fresado pueden indicar una falta de homogeneidad del material en la pieza de trabajo. El procedimiento acorde con la invención puede incluso detectar residuos de producción que no serían reconocibles sin extensas pruebas de material (por ejemplo, análisis de rayos X) de las piezas de trabajo. Del mismo modo, un cambio repentino en la fuerza axial, pero también un cambio correspondiente en los momentos flectores y también en el par durante el taladrado, indica una falta de homogeneidad en el material de la pieza de trabajo.

La particular idoneidad de considerar los momentos flectores como base para evaluar el proceso de mecanizado en sí, el estado de la herramienta, pero también las propiedades de la máquina, puede explicarse principalmente por el hecho de que los calibres extenso métricos, los sensores SAW o similares, que se proponen y disponen especialmente en el portaherramientas, se utilizan inicialmente para detectar deformaciones y, a partir de estas, deducir las fuerzas y momentos que actúan sobre ellas.

Estas deformaciones dependen especialmente de la palanca implicada, es decir, la distancia desde un punto de giro y el punto de aplicación de la fuerza implicada.

La medición del par de torsión de las palancas (en última instancia, debido al radio comparativamente pequeño de las herramientas utilizadas) es bastante pequeña, la longitud del vástago significativamente mayor de la herramienta combinada con la longitud adicional del portaherramientas da como resultado una palanca significativamente más grande, que normalmente será del orden de 10 veces mayor. De este modo, los cambios en las deformaciones detectadas con los sensores de medida son mayores en la escala correspondiente, lo que conduce a mayores precisiones y resoluciones de medición, proporcionando así declaraciones y conclusiones más fiables incluso con cambios menores.

Ejemplos de la evaluación de acuerdo con la invención de los valores registrados para las variables medidas de "momento flector" se pueden encontrar en las figuras adjuntas, que explican procedimientos ejemplares dentro del alcance de la invención para establecer y/o monitorear los parámetros de operación de una máquina de procesamiento.

En las imágenes se muestra:

La Fig. 1 muestra los valores del momento flector medidos en un diagrama de coordenadas bidimensional resuelto por la dirección y magnitud de los momentos flectores;

La Fig. 2 muestra una forma diferente de representar los valores del momento flector en función de la suma vectorial de los momentos flectores aplicados a lo largo del tiempo;

La Fig. 3 muestra una sección detallada de una representación según la Fig. 2;

La Fig. 4 muestra una representación de los valores medidos del momento flector de acuerdo con la cantidad de una suma vectorial de los momentos flectores aplicados a lo largo del tiempo para el fresado interior de un recorte redondo en cinco pasos de mecanizado sucesivos, que se muestran aquí en la ilustración anterior.

60

La Fig. 1 adjunta muestra una representación de los valores medidos del momento flector, mostrando pares de valores de las direcciones  $x$  e  $y$  en un plano perpendicular entre sí y en un plano perpendicular al eje de rotación, en relación con el portaherramientas giratorio. En el ejemplo que allí se muestra se representan los momentos flectores que se producen en una fresa de cuatro palas durante un proceso de mecanizado y durante una parametrización constante (velocidad de la herramienta, avance, dirección de avance) se midió la fase de procesamiento. Los puntos de datos marcados con el carácter de referencia S, que representan los filos de la herramienta de fresado, son claramente visibles. En esta representación, cada punto de la nube de datos representa un par de valores registrados en un momento  $t$ . Se registró un gran número de pares de valores durante un intervalo de tiempo  $\Delta t_1$  para obtener la representación.

10

En esta figura (Fig. 1) los valores registrados y visualizados se distribuyen sobre una línea de contorno constante durante el período  $\Delta t_1$ . Esto se debe precisamente a que los parámetros de mecanizado no se modificaron en el intervalo  $\Delta t_1$ , es decir, por ejemplo, no se modificó la velocidad de giro de la herramienta y no se modificó el avance y/o la dirección del movimiento relativo entre la herramienta y la pieza de trabajo. Si tales cambios se producen durante el período  $\Delta t_1$ , se obtienen otras imágenes de las que pueden extraerse otras conclusiones sobre el desarrollo dinámico del proceso de mecanizado.

15

También tales imágenes de la dinámica de los procesos de desarrollo pueden ser interesantes y valiosas para la evaluación, por ejemplo, en comparación con las imágenes tomadas durante un proceso de referencia para un mecanizado similar en la máquina de procesamiento, con el fin de detectar desviaciones en el proceso y/o en el comportamiento de la máquina en una fase temprana.

20

Ahora se puede utilizar esta visualización para obtener información sobre el estado y la carga de la herramienta, así como sobre el curso del proceso de mecanizado.

25

La figura mostrada en la representación es simétrica. Si aquí se detectaran desviaciones asimétricas, esto indicaría un error en el proceso de procesamiento, por ejemplo una rotura del filo de corte de la fresa si uno de los filos ya no se forma.

30

La Fig. 2 muestra una forma diferente de visualizar y evaluar los valores medidos para los momentos flectores aplicados. Aquí, la cantidad de la suma vectorial de todos los momentos flectores (es decir, la cantidad de un momento flector resultante) aplicada en un momento determinado del tiempo se representa como una función del tiempo. A partir de esta representación se pueden leer las cargas totales aplicadas en un momento determinado, que aquí actúan perpendicularmente al eje de rotación. Como se indica en la figura, se puede definir un valor máximo para los momentos flectores sumados vectorialmente, ilustrado aquí por la línea punteada "max.", para, por ejemplo, llevar a cabo la parametrización en la máquina de procesamiento durante la configuración del proceso de forma que no se exceda este valor, incluso en los picos mostrados aquí. Por ejemplo, los movimientos de aproximación o de desplazamiento entre la pieza y la herramienta pueden modificarse de tal manera que se reduzcan estos picos e incluso en estas zonas las sumas de los momentos flectores permanecen por debajo de la línea especificada de los valores límite.

40

En la Fig. 3 la figura resaltada muestra una progresión de la magnitud de la suma vectorial de los momentos flectores aplicados al portaherramientas, como se muestra en la Fig. 2. Se puede observar una meseta denominada P en la que la cantidad de la suma vectorial de los momentos flectores que actúan sobre el portaherramientas es esencialmente constante. En tal ventana de tiempo es ventajoso evaluar y registrar el momento flector en la dirección mostrada en la Fig. 1. Porque allí las condiciones no cambian debido a los cambios en las especificaciones de los parámetros de la máquina de procesamiento visibles en la Fig. 3 en los flancos de la curva, de modo que se puede obtener una imagen como la mostrada en la Fig. 1.

45

50

La Fig. 4 muestra la evolución del valor de magnitud de la suma vectorial de los momentos flectores a lo largo del tiempo, tal y como se registró durante una operación de fresado experimental para la inserción de un hueco circular en el contorno interior de una pieza de trabajo. Para una mayor claridad en la dirección y (la dirección de la cantidad de momentos flectores), la figura muestra la trayectoria de un total de cinco procesos de fresado a cinco profundidades de mecanizado sucesivas (dirección  $z$ ). La figura de la izquierda muestra curvas pronunciadas con puntos de ruptura hacia abajo y hacia arriba, que caracterizan el proceso. Los valores del momento flector durante un ciclo de fresado se pueden ver en el proceso posterior. La magnitud de la suma vectorial de los momentos flectores, que se indican con la flecha "E", es claramente visible en todas las profundidades de mecanizado. Estas caídas indican un error en el proceso de mecanizado, ya que un mecanizado redondo exacto da como resultado una constante

55

60

del momento flector. En este ejemplo, el fresado no era exactamente redondo debido a un ajuste defectuoso de la

máquina. La evaluación presentada aquí podría ayudar a descubrir esta circunstancia en una etapa temprana (aquí ya cuando se configura la máquina de procesamiento para un proceso en serie).

## REIVINDICACIONES

1. Método para configurar y/o controlar los parámetros de funcionamiento de una máquina de mecanizado de piezas que disponga de un portaherramientas y de medios para desplazar una pieza y el portaherramientas uno respecto a otro al menos a lo largo de un primer eje, donde se registran valores de al menos una de las siguientes variables medidas que se producen en el portaherramientas durante la interacción entre la herramienta y la pieza, y que se transmiten al portaherramientas durante el mecanizado del portaherramientas y durante la acción de la herramienta a una pieza que se está registrando y durante la secuencia de mecanizado:
- 5 a) Momentos flectores o componentes del momento flector en dirección y magnitud,
- utilizándose los valores determinados para al menos una variable medida con el fin de realizar un dispositivo de los parámetros de funcionamiento que esté coordinado con respecto a una vida útil prolongada de la herramienta utilizada con un tiempo de mecanizado que sea simultáneamente inferior a un tiempo de mecanizado máximo y/o para supervisar el proceso de mecanizado con respecto a su reproducibilidad y/o un desgaste de la herramienta y/o un error de la máquina de mecanizado de la pieza, **caracterizado porque** los valores de magnitud y las direcciones de las variables medidas de los momentos flectores y/o de los componentes del momento flector en un portaherramientas perpendicular al primer eje, fijado al portaherramientas y girando con este, en el mismo plano, en relación con el portaherramientas, y para la evaluación un orden de un gran número de valores de los momentos flectores o de las componentes del momento flector registrados en un punto de medición determinado t en un diagrama de coordenadas bidimensional.
- 15 2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado porque**, además de los momentos flectores o los componentes del momento flector en términos de dirección y magnitud, otra(s) variable(s) medida(s) es (son)
- 25 b) un par de torsión aplicado con respecto al primer eje o a un eje paralelo al mismo y/o c. se registra una fuerza axial que actúa en la dirección paralela al primer eje.
3. El método según la reivindicación 2, **caracterizado porque** el portaherramientas puede girar en torno al primer eje o en torno a un eje de rotación paralelo al primer eje, siempre que se recojan valores para el parámetro b., que se mide en relación al par de torsión sobre el eje de rotación.
- 30 4. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** los valores de magnitud y las direcciones de las variables medidas de los momentos flectores y/o de las componentes de los momentos flectores se detectan en dos direcciones, que son perpendiculares entre sí, son estacionarias respecto al portaherramientas, están situadas en un plano perpendicular al primer eje y en el que el portaherramientas giratorio gira con este último y se determinan de forma fija en relación con el portaherramientas, una dirección x y una dirección y, y en el que para la evaluación se aplica una multiplicidad de valores de los momentos flectores o de las direcciones y componentes de momento flector en la dirección x y en la dirección y en un diagrama de coordenadas rectangular bidimensional con los valores en la dirección x a lo largo de un primer eje de coordenadas y los valores en la dirección y a lo largo de un segundo eje de coordenadas como puntos de visualización.
- 35 5. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la representación en el diagrama de coordenadas con una frecuencia de muestreo situada dentro de un intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , cuya frecuencia de muestreo es significativamente inferior al intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , que un conjunto de datos suficiente para una representación significativa se registra dentro del intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , que, una vez finalizado el intervalo de tiempo  $\Delta t_1$ , se registre otra representación de un conjunto de datos registrado dentro de otro intervalo de tiempo  $\Delta t_2$  con una frecuencia de muestreo significativamente inferior al intervalo de tiempo  $\Delta t_2$ , que dentro del intervalo de tiempo  $\Delta t_2$ , se registre un conjunto de datos suficiente para una representación significativa, los pares de valores recogidos se representan en un nuevo diagrama de coordenadas y para la determinación de un desarrollo dinámico de las condiciones de funcionamiento, en particular el estado de la herramienta, se comparan las representaciones sucesivas.
- 45 6. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque**, en el caso de un portaherramientas giratorio, se pueden leer las cargas de las representaciones en el diagrama de coordenadas que se aplican por secciones a una herramienta dispuesta en el portaherramientas y que gira en torno al eje de rotación.
- 50 7. Método según la reivindicación 6, **caracterizado porque**, en una configuración del proceso de mecanizado, mediante la representación en el diagrama de coordenadas se efectúa una configuración del proceso en la que las cargas legibles por secciones en la representación del diagrama de coordenadas sobre la herramienta rotatoria pueden reducirse cambiando los parámetros de funcionamiento.
- 60

8. Procedimiento según la reivindicación 6, **caracterizado porque**, durante un control del proceso de mecanizado, se observan cambios en las cargas que actúan en las secciones y de ahí se deriva un desgaste de la herramienta, mediante el cual se emite un mensaje de cambio de herramienta cuando se alcanza un desgaste crítico  
5 predeterminado.
9. Procedimiento de acuerdo a una de las reivindicaciones 1 a 6, **caracterizado porque** cuando la representación de los puntos de medición en el diagrama de coordenadas que se desvía de la esperada, en particular si se desvía asimétricamente, se deduce una anomalía en el proceso de mecanizado y se emite el  
10 correspondiente aviso.
10. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** la monitorización de los parámetros de trabajo de la máquina de procesamiento a partir de las representaciones de los valores registrados durante el proceso, para detectar un cambio en el proceso en una fase temprana, la representación de los valores  
15 tomados durante el proceso y/o de la suma vectorial se compara con los valores registrados para los procesos de referencia correspondientes en un diagrama de coordenadas o como representación de la suma vectorial en función del tiempo.
11. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** a partir de los valores  
20 registrados de la(s) variable(s) medida(s) y una geometría conocida per se y propiedades materiales de la herramienta conocidas per se, así como un posicionamiento conocido de la herramienta en el portaherramientas, se realiza un cálculo de los movimientos evasivos y/o deformaciones de la herramienta en la posición de las secciones de mecanizado con el fin de comprobar en un proceso de mecanizado las desviaciones dimensionales resultantes de las deformaciones de la herramienta.  
25
12. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** al menos los valores para los que se determinan los momentos flectores se determinan en función de su magnitud y/o dirección y se comparan con respecto a un momento flector límite definido como máximo admisible en magnitud y/o dirección, determinándose como tal el momento flector límite, en particular durante el control de la herramienta de mecanizado,  
30 que se produce con una herramienta desgastada hasta un máximo admisible.
13. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el que al menos los valores de la fuerza axial se determinan y comparan con respecto a una fuerza axial límite definida como máxima admisible.  
35
14. Método según la reivindicación 13, **caracterizado porque** durante un control del proceso de mecanizado se determina la fuerza límite como tal, que se produce con una herramienta desgastada al máximo permitido.  
40
15. Método según una de las reivindicaciones anteriores, **caracterizado porque** el establecimiento de los parámetros de funcionamiento o la supervisión de los parámetros de funcionamiento, utilizando datos sobre la geometría y las propiedades del material de una herramienta y su posicionamiento en el portaherramientas, y teniendo en cuenta además los datos sobre la geometría y las propiedades del material de una pieza a mecanizar, normalizados a partir de los valores registrados para al menos una variable medida realmente presente en el  
45 proceso de mecanizado, se determinan las fuerzas de corte y se comparan con los valores admisibles y/o recomendados para la carga de la herramienta especificada por el fabricante, con el fin de optimizar los parámetros de funcionamiento en relación con el desgaste de la herramienta y/o el volumen de corte, teniendo en cuenta esa comparación

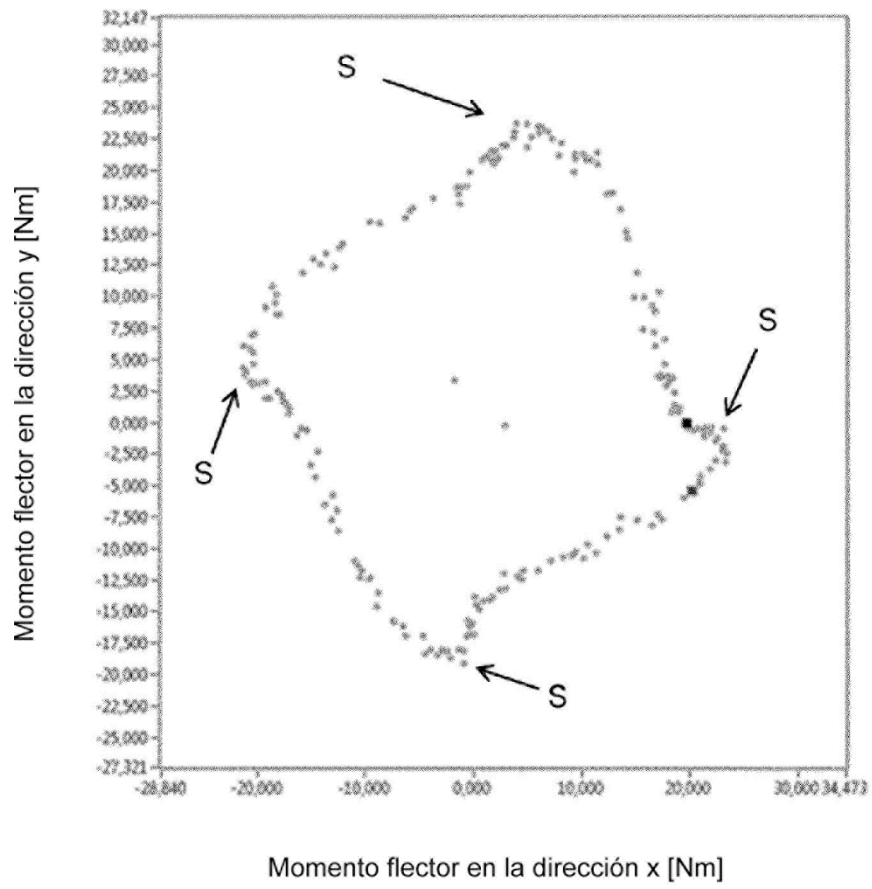


Fig. 1



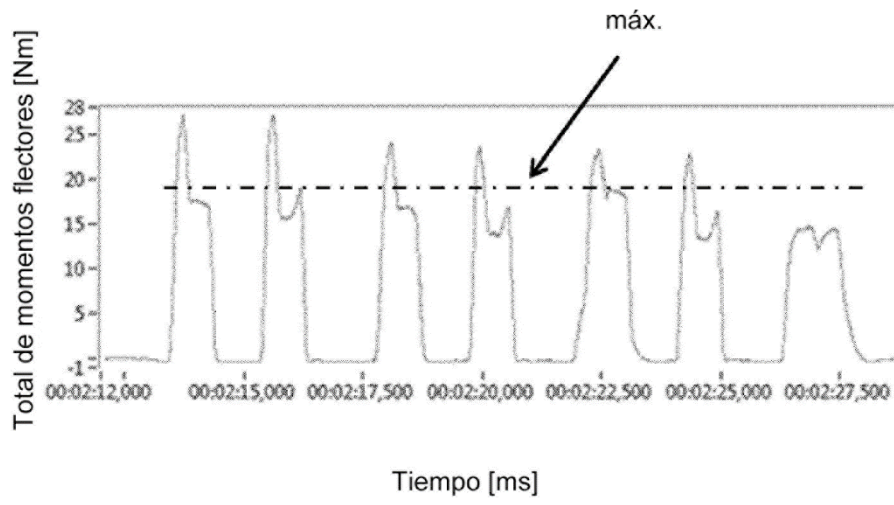


Fig. 2

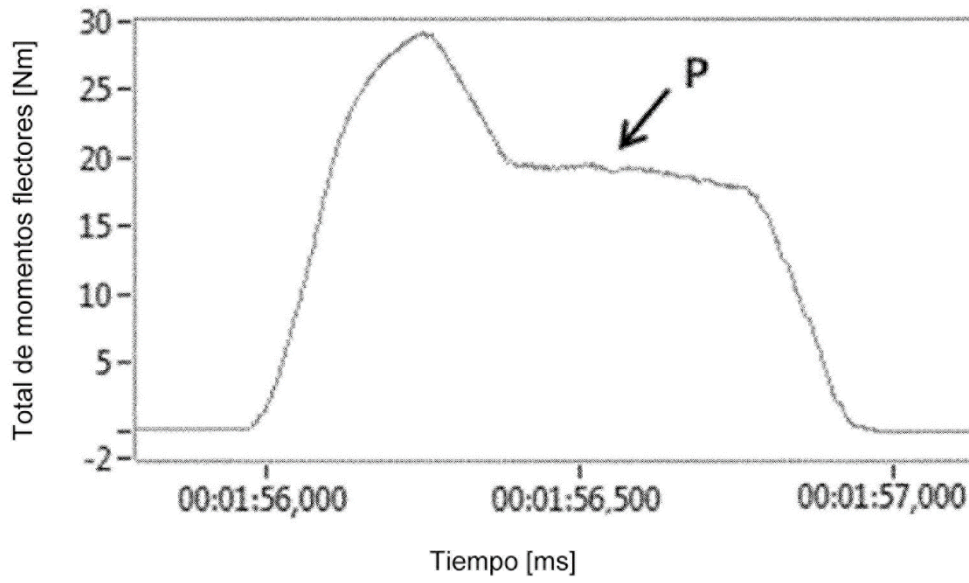


Fig. 3

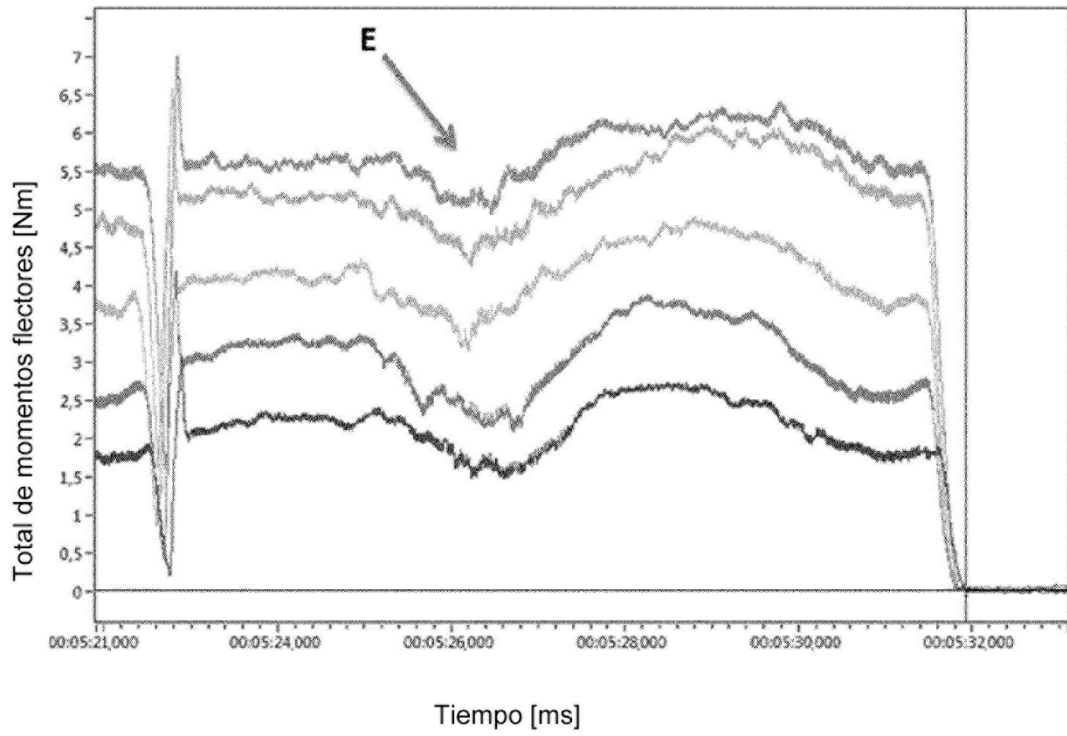


Fig. 4