

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 951 144**

51 Int. Cl.:

B23F 1/02 (2006.01)
B23F 5/04 (2006.01)
B23F 21/02 (2006.01)
B23Q 17/09 (2006.01)
B23F 23/12 (2006.01)
G05B 19/4065 (2006.01)
B24B 53/085 (2006.01)
B24B 53/075 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.03.2020** **PCT/EP2020/056862**

87 Fecha y número de publicación internacional: **01.10.2020** **WO20193228**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.03.2020** **E 20712878 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **07.06.2023** **EP 3941673**

54 Título: **Procedimiento para la supervisión automática de proceso en el rectificado por generación continua**

30 Prioridad:

22.03.2019 CH 3742019

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
18.10.2023

73 Titular/es:

REISHAUER AG (100.0%)
Industriestrasse 36
8304 Wallisellen, CH

72 Inventor/es:

DIETZ, CHRISTIAN;
EGER, ANDRÉ y
GRAF, JÜRG

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 951 144 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 para la supervisión automática de proceso en el rectificado por generación continua

5 Sector de la técnica

La presente invención se refiere a un procedimiento de acuerdo con el preámbulo de la reivindicación 1 para la supervisión automática de proceso durante el rectificado por generación continua con una rectificadora por generación. Un procedimiento de este tipo se conoce por el documento US 2017 0095868 A1.

La invención también se refiere a una rectificadora por generación que está diseñada para realizar dicho procedimiento, así como a un programa informático para la realización de dicho procedimiento.

Estado de la técnica

En el rectificado por generación continua, una pieza bruta de engranaje se mecaniza en engrane por rodadura con una muela abrasiva perfilada en forma de tornillo sin fin (tornillo sin fin de rectificar). El rectificado por generación es un procedimiento de mecanizado de generación muy exigente que se basa en una pluralidad de movimientos individuales sincronizados y precisos y está influenciado por muchas condiciones límite. Puede encontrarse información sobre los conceptos básicos del rectificado por generación, por ejemplo, en el libro de H. Schriefer y col., *"Continuous Generating Gear Grinding"*, Eigenverlag Reishauer AG, Wallisellen 2010, ISBN 978-3-033-02535-6, capítulo 2.3 (*"Basic Methods of Generating Grinding"*), páginas 121 a 129.

Teóricamente, la forma del flanco del diente en el rectificado por generación continua está fijada únicamente por la forma del perfil reavivado del tornillo sin fin de rectificado y los datos de ajuste de la máquina. En la práctica, sin embargo, se producen desviaciones con respecto a la situación ideal en la producción automatizada que pueden tener una influencia decisiva en los resultados de rectificado. En el citado libro de Schriefer y col. esto se trata en el capítulo 6.9 (*"Practical Know-How for Statistical Individual Deviation Analysis"*) en las páginas 531 a 541 y en el capítulo 6.10 (*"Analysing and Eliminating Gear Tooth Deviations"*) en las páginas 542 a 551.

Tradicionalmente, la calidad de los engranajes producidos mediante el procedimiento de rectificado por generación solo se evalúa después del final del mecanizado mediante mediciones de engranaje fuera de la máquina de mecanizado ("fuera de línea") utilizando una pluralidad de magnitudes medidas. A este respecto existen distintas normas que prescriben cómo deben medirse los engranajes y cómo se debe verificar si los resultados de la medición están dentro o fuera de una tolerancia especificada. Las normas también indican las relaciones que existen entre los resultados de la medición y las propiedades de uso del engranaje. Un resumen de tales mediciones de engranajes puede encontrarse, por ejemplo, en el libro ya mencionado de Schriefer y col. en el capítulo 3 (*"Quality Assurance in Continuous Generating Gear Grinding"*) en las páginas 155 a 200.

Con la operación manual, el usuario detecta las desviaciones de las especificaciones en el proceso de mecanizado en función de su experiencia, o dichas desviaciones se detectan durante la inspección posterior del engranaje. Después, el usuario devuelve el proceso de mecanizado a un intervalo estable cambiando los valores de ajuste. Sin embargo, para automatizar el mecanizado, es deseable que la supervisión del proceso intervenga automáticamente y lo estabilice.

Por el estado de la técnica se conocen solo superficialmente estrategias adecuadas para la supervisión de proceso en el rectificado por generación continua.

Así la presentación de la empresa "NORDMANN Tool Monitoring", versión del 05.10.2017, visitada el 25.02.2019 de https://www.nordmann.eu/pdf/presentation/Nordmann_presentationENG.pdf, describe distintas medidas para la supervisión de herramientas en máquinas-herramienta de arranque de virutas en general (página 3). La supervisión de herramienta puede tener lugar durante el mecanizado por desprendimiento de virutas a través de mediciones de la potencia activa, la fuerza de mecanizado o el ruido propagado por la estructura (página 7). Puede servir en particular, para detectar melladuras y desgaste de herramientas (páginas 9 a 14). Se dispone de una pluralidad de sensores para las distintas tareas de medición implicadas en la supervisión de herramientas (páginas 31 a 37). La potencia activa puede determinarse mediante mediciones de corriente (página 28). Se conocen captadores de corriente correspondientes para esto (página 37), o la corriente se puede supervisar sin sensores mediante datos del control CNC (página 40). La presentación muestra ejemplos de aplicación en distintos procedimientos de mecanizado, entre ellos brevemente algunos ejemplos de procedimientos que son relevantes para el mecanizado de engranajes, en particular fresado por generación (páginas 41 y 42), tallado de rosca por remolinado (página 59) y bruñido (página 60). También se tratan los procedimientos de avivado (página 92). En cambio el rectificado por generación continua se menciona únicamente de pasada (por ejemplo, páginas 3 y 61).

También se encuentra información sobre rectificado y reavivado (cilíndrico) en Klaus Nordmann, *"Prozessüberwachung beim Schleifen und Abrichten"*, *Schleifen + Polieren* 05/2004, Fachverlag Möller, Velbert (DE), páginas 52-56. En este caso el rectificado por generación continua tampoco se trata en detalle.

Los procedimientos en los que las magnitudes medidas se determinan en el contexto del rectificado por generación de engranajes se conocen, por ejemplo, a partir de los siguientes documentos: US20170095868A1, US4561216A, EP3345707A1 y US5904457A.

Con frecuencia en el rectificado por generación se utilizan muelas abrasivas de composición cerámica, que pueden avivarse. Un problema muy molesto con tales tornillos sinfín son las melladuras locales en uno o más pasos de rosca de tornillo sinfín de la muela abrasiva. Las melladuras de la muela abrasiva llevan a que los flancos de los dientes del engranaje que va a mecanizarse no se mecanizan por completo en toda su longitud si entran en contacto con la muela abrasiva en la zona de la melladura. Generalmente no todas las piezas de trabajo de un lote se ven afectadas en la misma medida por la melladura de la muela abrasiva, ya que la muela abrasiva habitualmente se desplaza a lo largo de su eje longitudinal durante la producción de un lote para llevar continuamente las áreas no utilizadas de la muela abrasiva al contacto con la pieza de trabajo (el llamado desplazamiento). Las piezas de trabajo que se han mecanizado exclusivamente por áreas intactas de la muela abrasiva por regla general no muestran defectos.

Esto dificulta la detección de errores de mecanizado debido a las melladuras de la muela abrasiva. Dado que en la inspección de engranajes generalmente solo tienen lugar controles aleatorios, los errores de mecanizado debidos a melladuras de muela de la abrasiva a menudo no se detectan durante la inspección de engranajes o solo se detectan muy tarde. No es raro que dichos errores se hagan evidentes solo después de que la pieza de trabajo se haya montado en una transmisión durante una prueba de fin de línea (prueba EOL). Esto implica costosos procesos de desmontaje. Además, el mismo error de mecanizado puede haber ocurrido en una pluralidad de otras piezas mientras tanto. Esto puede significar que, en determinadas circunstancias, partes significativas de un lote de producción deben desecharse como piezas NOK (NOK = "no OK"). Por lo tanto, incluso una sola melladura de muela abrasiva no detectada puede causar costes consecutivos muy altos. Por lo tanto, es deseable detectar de manera confiable o incluso impedir melladuras de muelas abrasivas como parte de la supervisión de proceso automática.

Además de las melladuras de muelas abrasivas, otros fenómenos pueden afectar negativamente la calidad de los engranajes fabricados en un lote de producción. Se sabe que las piezas a menudo no se mecanizan previamente de la misma manera o que se producen diferencias en la dureza y/o distorsiones de dureza en los flancos de dientes de las piezas en bruto. Pequeñas diferencias en la composición del tornillo sin fin de rectificar también pueden conducir a un comportamiento diferente de rectificado o avivado. La mala calidad durante el avivado también suele ser la causa de pérdidas de calidad en los engranajes producidos. Además, debido al proceso, el radio del tornillo sinfín de rectificado se reduce en la cantidad de reavivado respectiva durante el reavivado. Por lo tanto, durante el mecanizado de un lote de producción, las relaciones de engrane durante el rectificado por generación pueden cambiar drásticamente y, a menudo, incluso empeorar. A continuación, deben modificarse los valores de ajuste seleccionados al inicio del mecanizado. A pesar de todas las precauciones tomadas para garantizar una calidad de mecanizado constante, es inevitable que surjan diferencias individuales durante el mecanizado de cada pieza de trabajo.

En el rectificado por generación automatizado de un lote de producción, los valores de ajuste, las herramientas, los medios de sujeción y la tecnología de medición y automatización se definen antes del mecanizado. Cuando comienza el mecanizado, un operador supervisa el procedimiento y, una vez que se ha logrado una producción sin desechos, el lote de producción sigue mecanizándose casi automáticamente. Este proceso puede volverse inestable o perturbarse por dos influencias principales:

- en primer lugar, por la herramienta, es decir, por melladuras o peores condiciones de engrane después del rectificado; y
- en segundo lugar, por la pieza de trabajo, que puede presentar errores de mecanizado en el mecanizado previo.

Una supervisión de proceso debería registrar estas influencias e iniciar medidas para el acabado automatizado.

Objeto de la invención

Por lo tanto, un objetivo de la presente invención es especificar un procedimiento para supervisar el proceso durante el rectificado por generación continua, con el cual se pueden detectar y/o impedir desviaciones de proceso en una etapa temprana.

Este objetivo se resuelve mediante el procedimiento de la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se indican formas de realización adicionales.

De acuerdo con la invención, la supervisión de proceso se usa para obtener indicaciones tempranas en cuanto a desviaciones no permitidas en el proceso de mecanizado respecto a su curso normal en una rectificadora por generación y para deducir un indicador de advertencia de esto. En el caso más simple, el indicador de advertencia puede ser, por ejemplo, una variable booleana binaria que señala en forma binaria si existe sospecha o no de una desviación de proceso. Sin embargo, el indicador de advertencia también puede ser un número, por ejemplo, que es mayor cuanto mayor sea la probabilidad calculada de una desviación de proceso, o un valor vectorial que indica adicionalmente qué medida(s) llevó a la sospecha de una desviación de proceso o de qué tipo es la desviación de

proceso posible detectada. También son concebibles muchas otras implementaciones del indicador de advertencia.

La desviación de proceso que va a detectarse una melladura de muela abrasiva. En consecuencia, el indicador de advertencia es un indicador de advertencia que indica una posible melladura de la muela abrasiva. Como se indicó en la introducción, las melladuras de muelas abrasivas que no se detectan pueden dar lugar a que gran parte de un lote de producción deba rechazarse como piezas NO OK y, por lo tanto, es especialmente ventajoso si el control de proceso está configurado para emitir un indicador de advertencia que indica posibles melladuras de muela abrasiva.

Pueden activarse varias acciones automáticamente mediante el indicador de advertencia. Así, mediante el indicador de advertencia puede decidirse automáticamente si la última pieza de trabajo mecanizada debe clasificarse como una pieza NOK o alimentarse para una revisión especial. Mediante el indicador de advertencia también puede activarse una señal de advertencia óptica o acústica para incitar al operador de la rectificadora por generación a realizar una inspección visual de la muela abrasiva.

El indicador de advertencia activa una inspección automática de la muela abrasiva para buscar melladuras de muela abrasiva si el indicador de advertencia indica una melladura de la muela abrasiva.

Esta inspección automática puede tener lugar de diferentes formas. Por ejemplo, es concebible emplear un sensor óptico o una cámara digital para la inspección y, por ejemplo, con ayuda de procedimientos de procesamiento de imágenes digitales constatar automáticamente si se presenta una melladura de muela abrasiva. También es concebible para este fin inspeccionar las emisiones acústicas de la muela abrasiva, que se producen cuando un chorro de refrigerante incide sobre la muela abrasiva y se transmiten a través del chorro de refrigerante a un sensor acústico. Sin embargo, para la verificación automática se utiliza ventajosamente un equipo de reavivado con una herramienta de reavivado, como suele estar presente de todos modos en la rectificadora por generación. A este respecto para la inspección de la muela abrasiva, puede pasarse precisamente solo sobre una zona de cabeza de las roscas de tornillo sin fin de rectificado o se puede realizar una carrera de reavivado completa, como se realizaría también con el reavivado normal de la muela abrasiva.

Si solo se pasa sobre el área de cabeza, se pueden realizar los siguientes pasos tan pronto como el indicador de advertencia indique una melladura de muela abrasiva:

- recorrer un área de cabeza de la muela abrasiva con la herramienta de avivado;
- determinar una señal de contacto mientras se recorre el área de cabeza, en donde la señal de contacto indica un contacto de la herramienta de avivado con el área la cabeza de la muela abrasiva; y
- determinar un indicador de melladura mediante el análisis de la señal de contacto, señalando el indicador de melladura si está presente una melladura de muela abrasiva.

Si no hay contacto en un área fijada de un paso de tornillo sin fin de rectificar, esto es un claro indicio de que realmente se presenta una melladura de muela abrasiva. Esto se señala mediante el indicador de melladura.

Este recorrido del área de cabeza con la herramienta de reavivado también se puede realizar a intervalos regulares, independientemente del valor del indicador de advertencia, por ejemplo, después del mecanizado de un número específico de piezas de trabajo, para poder detectar también tales melladuras de muelas abrasivas que quedaron sin detectar en la supervisión de las magnitudes medidas durante la operación de mecanizado.

En el caso más simple, el indicador de melladura puede ser a su vez una variable booleana binaria que señala en forma binaria si hay una melladura o no. Sin embargo, también son concebibles implementaciones mucho más complejas del indicador de melladura. En particular, el indicador de melladura también señala preferentemente la ubicación de melladura de la muela abrasiva a lo largo de al menos uno de los pasos de tornillo sin fin en la muela abrasiva.

El contacto de la herramienta de avivado con el área de cabeza de la muela abrasiva puede detectarse de diferentes maneras. Por ejemplo, la rectificadora por generación puede presentar un sensor acústico para detectar acústicamente el engrane de la herramienta de avivado con la muela abrasiva mediante el ruido estructura producido durante el engrane. La señal de contacto se deriva entonces de una señal acústica que se determina utilizando el sensor acústico. Si la herramienta de reavivado se sujeta en un husillo de reavivado accionado para un giro por un motor, la señal de contacto puede derivarse en su lugar o adicionalmente de una señal de potencia que sea representativa del consumo de potencia del husillo de reavivado durante el recorrido por el área de cabeza.

Si el indicador de melladura señala la presencia de una melladura de muela abrasiva, el procedimiento puede prever el avivado completo de la muela abrasiva para caracterizar y/o eliminar aún más la melladura de muela abrasiva.

Sin embargo, como ya se ha explicado, también es concebible realizar directamente una operación de avivado completa para inspeccionar si la muela abrasiva presenta melladuras. En este caso, la inspección de la muela abrasiva para buscar melladuras y la caracterización de las melladuras tienen lugar mediante una supervisión de este seguimiento de esta operación de reavivado.

Para supervisar la operación de reavivado y caracterizar la melladura de la muela abrasiva con más detalle, puede determinarse una señal de potencia de reavivado durante el reavivado, que sea representativa del consumo de potencia del husillo de reavivado y/o del husillo portaherramientas durante el reavivado, y puede determinarse una medida de melladura mediante el análisis de la evolución de la señal de potencia de avivado durante el avivado. La medida de melladura refleja a este respecto al menos una característica de la melladura de muela abrasiva, por ejemplo, dónde se localiza la melladura de muela abrasiva y/o la profundidad del daño del paso de tornillo sin fin de rectificar en dirección radial.

La medida de melladura se puede utilizar entonces para decidir automáticamente si la melladura de muela abrasiva puede eliminarse mediante un avivado único o múltiple. Si este no es el caso, puede emitirse una señal al usuario de que la muela abrasiva debe reemplazarse, o el mecanizado adicional puede controlarse de manera que las piezas de trabajo adicionales solo se mecanizan con áreas no dañadas del tornillo sin fin de rectificar.

El análisis de la evolución de la señal de potencia de reavivado para determinar la medida de melladura puede comprender la etapa siguiente: determinar una magnitud de variación, en donde la magnitud de variación señala cambios locales en la magnitud de la señal de potencia de reavivado a lo largo de al menos uno de los pasos de tornillo sin fin. Por ejemplo, esta magnitud de variación puede permitir deducir directamente la profundidad radial de la melladura de la muela abrasiva.

Como ya se ha explicado, como parte de la supervisión de proceso propuesta en este caso, se determina un indicador de advertencia para una desviación de proceso, en particular para una melladura de muela abrasiva, para recibir indicaciones tempranas de posibles desviaciones de proceso. Pueden supervisarse distintas magnitudes medidas para determinar este indicador de advertencia.

En particular, las magnitudes medidas supervisadas pueden comprender un indicador de divergencia para una divergencia de grosor de diente de la pieza de trabajo antes del mecanizado. Si el indicador de divergencia muestra que la divergencia del grosor del diente supera un valor permitido o que se presentan otros errores de mecanizado previo, el indicador de advertencia se configura en consecuencia para interrumpir el mecanizado de manera que puede evitarse un daño en la muela abrasiva. Dado el caso, puede examinarse a continuación la muela abrasiva para buscar posibles melladuras debido al mecanizado previo deficiente de las piezas de trabajo anteriores.

El indicador de divergencia se determina a este respecto ventajosamente con una sonda de centrado ya presente en la máquina herramienta y conocida *per se* que está configurada para medir sin contacto los huecos entre dientes de la pieza de trabajo sujeta en el husillo portapiezas. La medición del grosor de diente puede calibrarse con una pieza de trabajo de calibración y pueden definirse valores límite que deben cumplir las señales de la sonda de centrado para que la divergencia de grosor de diente se considere admisible. Un sensor inductivo o capacitivo que funciona sin contacto, por ejemplo, puede usarse como una sonda de centrado. En este caso, la sonda de centrado cumple una doble función: Por un lado, se usa para el centrado antes de comenzar el mecanizado, por otro lado, se usa para determinar una divergencia del grosor del diente. Sin embargo, en lugar de la sonda de centrado, también puede usarse un sensor independiente para determinar los grosores de diente, por ejemplo, un sensor óptico independiente, que puede ser preferible en el caso de altas velocidades de giro.

También puede obtenerse una indicación temprana del riesgo de una melladura de muela abrasiva si las magnitudes medidas supervisadas comprenden una desviación de la velocidad de giro entre una velocidad de giro del husillo portapiezas y una velocidad de giro resultante de la pieza de trabajo. Si se presenta tal desviación, esto indica que la pieza de trabajo no se sujetó correctamente en el husillo portapiezas y, por lo tanto, no se transportó correctamente (resbalamiento). Esto puede llevar a que la pieza de trabajo no esté en la posición angular correcta cuando se engrana con el tornillo sin fin de rectificar, de modo que los pasos de tornillo sin fin de rectificar no pueden introducirse correctamente en los espacios entre dientes de la pieza de trabajo. En tal situación, la pieza de trabajo no se mecaniza correctamente y las fuerzas de mecanizado pueden ser tan altas que el tornillo sin fin de rectificado se dañe gravemente. Mediante una supervisión de las velocidades de giro del husillo portapiezas y la pieza de trabajo, tales situaciones pueden detectarse idealmente y el proceso de mecanizado puede detenerse antes de que la pieza de trabajo se engrane con el tornillo sin fin de rectificado. Todavía puede evitarse la melladura de la muela abrasiva dado el caso. Si se constata una desviación de la velocidad de giro, el indicador de advertencia se configura en consecuencia. Dado el caso, la muela abrasiva se examina para buscar daños mediante el indicador de advertencia.

Otras magnitudes medidas relevantes son las posiciones de ángulo de giro del husillo portapiezas y de la pieza de trabajo sujeta sobre él antes y después del mecanizado o el cambio de estas posiciones de ángulo de giro durante el mecanizado. En particular, las magnitudes medidas supervisadas pueden comprender una desviación angular, que se determinó comparando una posición angular del husillo portapiezas después del mecanizado de la pieza de trabajo, una posición angular asociada de la propia pieza de trabajo, una posición angular del husillo portapiezas antes del mecanizado de la pieza de trabajo y una posición angular asociada de la propia pieza de trabajo. Si esta desviación angular señala que la diferencia angular entre la posición angular después del mecanizado y la posición angular antes del mecanizado difieren en el husillo portapiezas y en la propia pieza de trabajo, esto a su vez es una indicación de que el husillo portapiezas no ha transportado correctamente la pieza de trabajo. Esto, a su vez, es un motivo para

configurar el indicador de advertencia en consecuencia y, dado el caso, para examinar si la muela abrasiva no presenta daños para mayor seguridad.

La velocidad de giro o la posición angular de la pieza de trabajo también se determinan ventajosamente con la sonda de centrado ya mencionada. La sonda de centrado cumple a este respecto una doble función: Por un lado, se usa para el centrado antes de comenzar el mecanizado, por otro lado, se usa para supervisar la operación de mecanizado propiamente dicha. Sin embargo, en lugar de la sonda de centrado, también puede usarse de nuevo un sensor independiente para determinar la velocidad de giro y/o posición angular de la pieza de trabajo, por ejemplo, un sensor óptico independiente, que puede ser preferible en el caso de altas velocidades de giro.

La sonda de centrado puede estar dispuesto ventajosamente en un lado de la pieza de trabajo opuesto a la muela abrasiva. De esta manera no hay colisión entre la muela abrasiva y la sonda de centrado y queda suficiente espacio para mordazas de agarre paralelas dispuestas lateralmente para manipular la pieza de trabajo.

Las magnitudes medidas supervisadas también pueden comprender una señal de potencia de arranque de virutas que señala una potencia de arranque de virutas durante el mecanizado de cada pieza de trabajo individual. El indicador de advertencia depende entonces de la evolución en el tiempo de la señal de potencia de arranque de virutas durante el mecanizado de una pieza de trabajo. En particular, la aparición de un aumento a modo de pulso en la señal de potencia de arranque de virutas durante el mecanizado puede ser una indicación de una colisión de la pieza de trabajo con un paso de tornillo sin fin de rectificado, lo que puede provocar una melladura de muela abrasiva, y el indicador de advertencia puede señalar esto en consecuencia. La señal de potencia de arranque de virutas puede determinarse en particular mediante una medición de corriente en el husillo portaherramientas y, en este sentido, puede ser una medida del consumo de corriente actual del husillo portaherramientas durante el mecanizado de una pieza de trabajo.

Otra posibilidad para fijar el indicador de advertencia resulta de las siguientes consideraciones: En el mecanizado de una pieza de trabajo con una muela abrasiva dañada, la cantidad de material eliminada en el área de la melladura de muela abrasiva es menor que en las áreas intactas de la muela abrasiva. En el transcurso del movimiento de desplazamiento, las piezas de trabajo van a parar y/o salen cada vez más del área de melladura de muela abrasiva. En consecuencia, la cantidad de material eliminado por pieza de trabajo primero disminuirá y luego aumentará de nuevo. Esto se refleja directamente en la energía de arranque de virutas aplicada por pieza de trabajo, es decir, en la integral de la potencia de arranque de virutas a lo largo del tiempo.

A este respecto, el procedimiento puede comprender la ejecución de un movimiento de desplazamiento continuo o discontinuo entre la muela abrasiva y las piezas de trabajo a lo largo del eje de herramienta. Las magnitudes medidas supervisadas pueden comprender entonces un indicador de energía de arranque de virutas para cada pieza de trabajo, en donde el indicador de energía de arranque de virutas es una medida de una potencia de arranque de virutas integrada de la muela abrasiva mientras la pieza de trabajo respectiva se mecanizaba con la rectificadora por generación. El indicador de advertencia puede entonces depender de cómo cambia el indicador de energía de arranque de virutas durante la producción de varias piezas de trabajo en un lote de producción, es decir, de una pieza de trabajo a otra.

El indicador de energía de arranque de virutas puede ser en particular a este respecto la integral del consumo de corriente del husillo portaherramientas durante el mecanizado de una pieza de trabajo individual. En cambio, el indicador de energía de arranque de virutas también puede ser otro valor característico que se derivó del consumo de energía del husillo portaherramientas durante el mecanizado de una pieza de trabajo individual, por ejemplo, un valor máximo del consumo de corriente determinado adecuadamente.

Para poder efectuar un análisis posterior, es ventajoso que las magnitudes medidas supervisadas y/o magnitudes derivadas de las mismas, en particular el indicador de advertencia, se almacenen en una base de datos junto con un identificador unívoco de la pieza de trabajo respectiva. Estos datos pueden volverse a leer en cualquier momento posterior, por ejemplo, en el contexto del mecanizado posterior de piezas de trabajo similares.

La presente invención también se refiere a una rectificadora por generación que está configurada para realizar el procedimiento explicado anteriormente. Al respecto, presenta:

- un husillo portaherramientas en el que una muela abrasiva perfilada en forma de tornillo sin fin con uno o más pasos de rosca de tornillo sin fin puede sujetarse y puede accionarse para girar alrededor de un eje de herramienta; al menos un husillo portapiezas para accionar en cada caso una pieza de trabajo dentada previamente para que gire alrededor de un eje de pieza de trabajo; y
- un sistema de control de máquina que está configurado para realizar el procedimiento del tipo explicado anteriormente.

Para ello, la rectificadora por generación puede presentar otros componentes, como se mencionó anteriormente en el contexto de los distintos procedimientos.

En particular, la rectificadora por generación puede comprender un equipo de determinación de divergencia para

determinar una divergencia de los grosores de diente de una pieza de trabajo que va a mecanizarse. Como ya se explicó, el equipo de determinación de divergencia puede, en particular, recibir y evaluar señales de la sonda de centrado.

- 5 La rectificadora por generación también puede presentar un primer captador de ángulo de giro para determinar un ángulo de giro del husillo portapiezas y un segundo captador de ángulo de giro para determinar un ángulo de giro de la pieza de trabajo alrededor del eje de pieza de trabajo. Como ya se ha explicado, la sonda de centrado puede servir de nuevo como segundo captador de ángulo de giro. Los ángulos de giro correspondientes pueden derivarse de las señales de los sensores de ángulo de giro en un equipo de determinación de ángulo de giro, y las velocidades de giro correspondientes pueden derivarse en un equipo de determinación de velocidad de giro.

10 El sistema de control de máquina de la rectificadora por generación también puede comprender una unidad de determinación de potencia de arranque de virutas para fijar la señal de potencia de arranque de virutas explicada anteriormente, y un equipo de análisis que está configurado para analizar cómo cambia la señal de potencia de arranque de virutas con el tiempo durante el mecanizado de una pieza de trabajo. El sistema control de máquina también puede comprender un equipo de determinación de energía de arranque de virutas para calcular el indicador de energía de arranque de virutas para cada pieza de trabajo, así como un equipo de análisis adicional configurado para analizar cómo cambia el indicador de energía de arranque de virutas de una pieza de trabajo a otra de un lote de producción. Estos equipos se pueden implementar en el software, por ejemplo, el sistema de control de la máquina que comprende un microprocesador programado para ejecutar las tareas indicadas. El equipo de determinación de potencia de arranque de virutas puede estar configurado, por ejemplo, para leer señales de corriente de un módulo de eje para controlar el husillo portaherramientas, y el equipo de determinación de energía de arranque de virutas puede estar configurado para integrar estas señales durante el mecanizado de una pieza de trabajo.

25 El sistema de control de máquina también puede comprender la base de datos mencionada anteriormente, en la que las magnitudes medidas y, dado el caso, las magnitudes derivadas de ellas pueden almacenarse junto con un identificador unívoco de la pieza de trabajo respectiva y, dado el caso, otros parámetros de proceso. Sin embargo, la base de datos también puede estar implementada en un servidor independiente que está conectado al sistema de control de la máquina a través de una red.

30 El sistema de control de la máquina también puede presentar un equipo de salida para emitir una señal de advertencia, por ejemplo, una interfaz para emitir la señal de advertencia en forma digital a un equipo conectado aguas abajo, una pantalla para la visualización de la señal de advertencia, un equipo de salida acústica, etc.

35 La rectificadora por generación también puede comprender ventajosamente el equipo de reavivado ya mencionado, y el sistema de control de la máquina puede comprender un equipo de control de reavivado para controlar el husillo reavivado, así como un equipo de supervisión de reavivado para determinar la señal de contacto y/o la señal de potencia de reavivado mencionada y para determinar el indicador de melladura o la dimensión de melladura mencionados a partir de la evolución de estas señales. Estas unidades pueden implementarse a su vez en software. Además, el control de máquina puede presentar un equipo de salida para emitir el indicador de melladura o la dimensión de melladura.

45 Para detectar contactos entre la herramienta de reavivado y la muela abrasiva, la rectificadora por generación puede presentar el sensor acústico ya mencionado. La rectificadora por generación también puede presentar un equipo de medición de potencia para determinar el consumo de potencia del husillo de reavivado y/o un equipo de medición de potencia correspondiente para determinar el consumo de potencia del husillo portaherramientas. Para ello, el equipo de medición de potencia correspondiente puede estar configurado, por ejemplo, para leer señales de corriente de un módulo de eje para controlar el husillo de reavivado o el husillo portaherramientas.

50 Para llevar a cabo la supervisión de proceso, la rectificadora por generación puede comprender un aparato de control configurado correspondientemente. Esto puede comprender, en particular, el equipo de determinación de divergencia, el equipo de determinación de ángulo de giro, el equipo de determinación de la velocidad de giro, la unidad de determinación de potencia de arranque de virutas, el equipo de determinación de energía de arranque de virutas, equipos de análisis, el equipo de supervisión de reavivado, equipos de medición de potencia y equipos de salida.

55 La presente invención proporciona además un programa informático. El programa informático comprende instrucciones que hacen que un sistema de control de máquina en una rectificadora por generación del tipo explicado anteriormente, en particular uno o más procesadores del sistema de control de máquina, ejecute el procedimiento explicado anteriormente. El programa informático puede estar almacenado en un equipo de almacenamiento adecuado, por ejemplo, un aparato de control independiente con un servidor. En particular, también se propone un medio legible por ordenador, en el que se almacena el programa informático. El medio puede ser un medio no volátil como memoria flash, CD, un disco duro, etc.

65 Descripción de las figuras

Las formas de realización preferidas de la invención se describen a continuación con referencia a los dibujos, que son

únicamente explicativos y no deben interpretarse como restrictivos. En los dibujos, muestran:

- Fig. 1 una vista esquemática de una rectificadora por generación;
- Fig. 2 un detalle ampliado de la Fig. 1 en el área II;
- 5 Fig. 3 un detalle ampliado de la Fig. 1 en el área III;
- Fig. 4 cuatro fotografías de una muela abrasiva con melladuras en uno o más pasos de tornillo sin fin;
- Fig. 5 una fotografía de un engranaje dañado;
- Fig. 6 un diagrama que muestra, a modo de ejemplo, señales características de la sonda de centrado en caso de mecanizado previo adecuado e inadecuado (fluctuación en la desviación de grosor de diente) de dos piezas de trabajo;
- 10 Fig. 7 un diagrama que muestra en la parte (a) la evolución en el tiempo de la velocidad de giro del husillo portapiezas cuando se acelera hasta la velocidad de trabajo y en la parte (b) las señales resultantes de la sonda de centrado cuando la pieza de trabajo no se arrastra por completo;
- Fig. 8 un diagrama que muestra la evolución en el tiempo del consumo de potencia del husillo portaherramientas durante el mecanizado de la pieza de trabajo cuando la muela abrasiva entra en contacto con una pieza de trabajo que no está en la posición angular correcta,
- 15 Fig. 9 un diagrama que muestra las evoluciones en el tiempo del consumo de corriente del husillo portaherramientas durante el mecanizado de la pieza sin melladura y con una gran melladura de la muela abrasiva;
- 20 Fig. 10 un diagrama que muestra la evolución en el tiempo del consumo de corriente medio del husillo portaherramientas durante el mecanizado de la pieza a lo largo de un lote de producción con una muela abrasiva con gran melladura;
- Fig. 11 un diagrama que muestra un ejemplo de la evolución en el tiempo de una señal acústica durante el reavivado de cabeza de una muela abrasiva con una melladura;
- 25 Fig. 12 dos diagramas que muestran la evolución en el tiempo del consumo de corriente del husillo de reavivado, (a) para una muela abrasiva sin melladuras y (b) para una muela abrasiva con una melladura;
- Fig. 13 dos diagramas que muestran la evolución en el tiempo del consumo de corriente del husillo de reavivado (parte(a)) o del husillo portapiezas (parte(b)) en el reavivado de una muela abrasiva con una melladura;
- Fig. 14 un diagrama de flujo para un procedimiento para supervisar el proceso con el fin de detectar melladuras de muelas abrasivas en una etapa temprana; y
- 30 Fig. 15 un diagrama de flujo para otras operaciones después de detectar una melladura de muela abrasiva.

Descripción detallada de la invención

35 Identificador estructura de una rectificadora por generación

En la Fig. 1 está representada a modo de ejemplo y una rectificadora por generación 1. La máquina presenta una bancada de máquina 11 sobre la que se guía un portaherramientas 12 de forma desplazable a lo largo de una dirección de aproximación X. El portaherramientas 12 soporta un carro axial 13 que se guía de manera desplazable a lo largo de una dirección axial Z con respecto al portaherramientas 12. En el carro axial 13 está montado un cabezal rectificador 14 que puede hacerse pivotar alrededor de un eje de pivotado que discurre paralelo al eje X (el llamado eje A) para adaptarlo al ángulo de hélice del engranaje que va a mecanizarse. El cabezal rectificador 14 soporta a su vez un carro de desplazamiento sobre el que puede desplazarse un husillo portaherramientas 15 a lo largo de un eje de desplazamiento Y con respecto al cabezal rectificador 14. En el husillo portaherramientas 15 está fijada una muela abrasiva 16 de perfil helicoidal. La muela abrasiva 16 se acciona por el husillo portaherramientas 15 para que gire alrededor de un eje B de herramienta.

La bancada de máquina 11 también soporta un portapiezas 20 pivotante en forma de torre giratoria, que puede hacerse pivotar entre al menos tres posiciones alrededor de un eje C3. En el portapiezas 20 están montados dos husillos portapiezas idénticos diametralmente opuestos, de los cuales en la Fig. 1 solo puede verse un husillo portapiezas 21 con contrapunto 22. El husillo portapiezas visible en la Fig. 1 se encuentra en una posición de mecanizado en la que puede mecanizarse con la muela abrasiva 16 una pieza 23 sujeta sobre él. El otro husillo portapiezas desplazado 180 ° y no visible en la Fig. 1 se encuentra en una posición de cambio de pieza de trabajo, en la que puede retirarse una pieza de trabajo acabada de este husillo y sujetarse una pieza bruta nueva. Un equipo de reavivado 30 está montado desplazado 90 ° con respecto a los husillos de pieza de trabajo.

Todos los ejes accionados de la rectificadora por generación 1 se controlan digitalmente por un sistema de control de máquina 40. El sistema de control de máquina 40 recibe señales de sensor de una pluralidad de sensores en la rectificadora por generación 1 y emite señales de control a los actuadores de la rectificadora por generación 1 en función de estas señales de sensor. El sistema de control de máquina 40 comprende, en particular, varios módulos de eje 41, que proporcionan señales de control para un eje de máquina en cada caso (es decir, para al menos un actuador que se usa para el accionamiento del eje de máquina relevante como, por ejemplo, un servomotor) en sus salidas. También comprende por lo demás un panel de mando 43 y un aparato de control 42 con un ordenador de control que interactúa con el panel de mando 43 y los módulos de eje 41. El aparato de control 42 recibe instrucciones de operador desde el panel de mando 43, así como señales de sensores y calcula a partir de ellas instrucciones de control para los módulos de eje. Además, basándose en las señales del sensor, emite parámetros operativos al panel de mando

43 para su visualización.

Un servidor 44 está conectado al aparato de control 42. El aparato de control 42 transmite un identificador unívoco y parámetros operativos seleccionados (en particular magnitudes medidas y magnitudes derivadas de las mismas) al servidor 44 para cada pieza de trabajo. El servidor 44 almacena estos datos en una base de datos de modo que los parámetros operativos asociados puedan consultarse más tarde para cada pieza de trabajo. El servidor 44 puede estar dispuesto en la máquina o puede estar dispuesto alejado de la máquina. En este último caso, el servidor 44 puede conectarse al aparato de control 42 a través de una red, en particular a través de una LAN interna, a través de una WAN o a través de Internet. El servidor 44 está configurado para recibir y gestionar preferentemente datos de una única rectificadora por generación. Cuando se utilizan varias rectificadoras por generación, por regla general se utiliza un segundo servidor porque esto permite un acceso central a los datos almacenados y un mejor manejo de las grandes cantidades de datos. Además, estos datos están mejor protegidos en un segundo servidor.

La Fig. 2 muestra el detalle II de la Fig. 1 a escala ampliada. Puede distinguirse el husillo portaherramientas 15 con la muela abrasiva 16 sujeta sobre él. Una sonda de medición 17 está montada de forma pivotante en una parte fija del husillo portaherramientas 15. Esta sonda de medición 17 puede hacerse pivotar opcionalmente entre la posición de medición de la Fig. 2 y una posición de estacionamiento. En la posición de medición, el palpador de medición 17 puede utilizarse para medir palpando el engranaje de una pieza de trabajo 23 en el husillo portapiezas 21. Esto tiene lugar "en línea", es decir, mientras la pieza de trabajo 23 todavía se encuentra en el husillo portapiezas 21. Esto permite la detección temprana de errores de mecanizado. En la posición de estacionamiento, el palpador de medición 17 se encuentra en un área en la que está protegido contra colisiones con el husillo portapiezas 21, el contrapunto 22, la pieza de trabajo 23 y otros componentes del portapiezas 20. El palpador de medición 17 se encuentra en esta posición de estacionamiento mientras se mecaniza la pieza de trabajo.

Una sonda de centrado 24 está dispuesta en un lado de la pieza de trabajo 23 opuesto a la muela abrasiva 16. En el presente ejemplo, la sonda de centrado 24 está diseñada y dispuesta de acuerdo con el documento WO 2017/194251 A1. Con respecto al funcionamiento y disposición de una sonda de centrado, se hace referencia expresa al documento mencionado. En particular, la sonda de centrado 24 puede comprender un sensor de proximidad que funcione de forma inductiva o capacitiva, como es bien conocido por el estado de la técnica. Sin embargo, también es concebible utilizar un sensor óptico para la operación de centrado que, por ejemplo, dirija un haz de luz sobre el engranaje que va a medirse y que detecte la luz reflejada en él, o que detecte la interrupción de un haz de luz por el engranaje que va a medirse mientras este gira alrededor del eje de pieza de trabajo C1. Además, es concebible que en la sonda de centrado 24 estén dispuestos uno o más sensores adicionales que pueden registrar datos de proceso directamente en la pieza de trabajo, como se propuso, por ejemplo, en el documento US 6577917 B1. Tales sensores adicionales pueden comprender, por ejemplo, un segundo sensor de centrado para un segundo engranaje, un sensor de temperatura, un sensor de ruido estructural adicional, un sensor neumático, etc.

Además, en la Fig. 2 se indica un sensor acústico 18 de forma puramente simbólica. El sensor acústico 18 se usa para captar el ruido estructural del husillo portaherramientas 15 que se produce durante el rectificado de una pieza de trabajo y el reavivado de la muela abrasiva. En realidad, el sensor acústico generalmente no se encuentra (como se indica en la Fig. 2) en una parte de la carcasa, sino, por ejemplo, directamente en el estator del motor de accionamiento del husillo portaherramientas 15, para garantizar una transmisión de sonido eficiente. Los sensores acústicos o sensores de ruido estructural del tipo mencionado son bien conocidos en sí mismos y se usan rutinariamente en rectificadoras por generación.

Una boquilla de refrigerante 19 dirige un chorro de refrigerante a la zona de mecanizado. Puede estar previsto un sensor acústico adicional (no mostrado) para registrar los ruidos que se transmiten a través de este chorro de refrigerante.

La Fig. 3 muestra el detalle III de la Fig. 1 a escala ampliada. El equipo de reavivado 30 se puede detectar especialmente bien en este caso. Un husillo de reavivado 32, en el que está sujeta una herramienta de reavivado 33 en forma de disco, está dispuesto en un accionamiento giratorio 31 de forma que puede hacerse pivotar alrededor de un eje C4. En lugar o adicionalmente, también puede estar prevista una herramienta de reavivado estacionaria, en particular un denominado reavivador de cabeza, que está previsto únicamente para engranar con las áreas de cabeza de los pasos tornillo sin fin de la muela abrasiva para reavivar estas áreas de cabeza.

Mecanizado de un lote de piezas de trabajo

Para mecanizar una pieza de trabajo sin mecanizar (pieza bruta), la pieza de trabajo se sujeta mediante un cambiador automático de piezas de trabajo en el husillo portapiezas que se encuentra en la posición de cambio de pieza de trabajo. El cambio de pieza de trabajo tiene lugar paralelamente al mecanizado de otra pieza de trabajo en el otro husillo portapiezas que se encuentra en la posición de mecanizado. Cuando se sujeta la nueva pieza de trabajo que va a mecanizarse y el mecanizado de la otra pieza de trabajo ha finalizado, el portapiezas 20 se hace pivotar 180 ° alrededor del eje C3 para que el husillo con la nueva pieza de trabajo que va a mecanizarse alcance la posición de mecanizado. Antes y/o durante la operación de pivotado, se realiza una operación de centrado utilizando la sonda de centrado asignada. Para ello se hace girar el husillo portapiezas 21 y con la sonda de centrado 24 se mide la posición

de los espacios entre dientes de la pieza de trabajo 23. El ángulo de rodadura se fija sobre esta base. Además, con la ayuda de la sonda de centrado, se pueden derivar indicaciones de variación excesiva en la divergencia del grosor del diente y otros errores de mecanizado previo antes del inicio del mecanizado. Esto se explica con más detalle a continuación en relación con la Fig. 6.

Cuando el husillo portapiezas, que soporta la pieza de trabajo 23 que va a mecanizarse, ha alcanzado la posición de mecanizado, la pieza de trabajo 23 se engrana sin colisión con la muela abrasiva 16 mediante el desplazamiento del portaherramientas 12 a lo largo del eje X. La pieza de trabajo 23 se mecaniza en engrane rodante ahora mediante la muela abrasiva 16. Mientras tanto, el husillo portaherramientas 15 se desplaza lenta y continuamente a lo largo del eje de desplazamiento Y para permitir continuamente que las áreas de la muela abrasiva 16 todavía sin usar se utilicen durante el mecanizado (el llamado movimiento de desplazamiento). Tan pronto como se completa el mecanizado de la pieza de trabajo 23, opcionalmente se mide en línea con ayuda del palpador de medición 17.

Paralelamente al mecanizado de la pieza de trabajo, la pieza de trabajo acabada se extrae del otro husillo portapiezas y se sujeta otra pieza bruta en este husillo. Cada vez que el portapiezas se hace pivotar alrededor del eje C3, se realiza una monitorización de componentes seleccionados antes del pivotado o dentro del tiempo de pivotado, es decir, neutral en el tiempo, y el proceso de mecanizado solo continúa cuando se han cumplido todos los requisitos definidos.

Si después de mecanizar un fijado número de piezas de trabajo, el uso de la muela abrasiva 16 ha progresado tanto que la muela abrasiva es demasiado roma y/o la geometría de los flancos es demasiado imprecisa, entonces la muela abrasiva se aviva. Para ello, el portapiezas 20 se hace pivotar $\pm 90^\circ$, de modo que el equipo de reavivado 30 llega a una posición en la que se encuentra frente a la muela abrasiva 16. La muela abrasiva 16 se reaviva ahora con la herramienta de reavivado 33.

Roturas de muela abrasiva

En el mecanizado pueden producirse melladuras de muela abrasiva. La Fig. 4 ilustra distintas formas de melladuras de muela abrasiva 51 en tornillos sin fin de rectificado. En la parte (a), un solo paso de tornillo sin fin se ha desprendido casi por completo superando un cierto rango angular. En la parte (b), en cambio, varios pasos de tornillo sin fin están dañados localmente en muchos puntos diferentes en el área de cabeza. También se presentan varios daños locales en la parte (c), pero estos son más profundos que en la parte (b). En la parte (d), la muela abrasiva está muy dañada en dos áreas, en donde en estas áreas varios pasos de tornillo sin fin adyacentes se han desprendido casi por completo. Todos estos perfiles de daños pueden ocurrir en la práctica y provocar diferentes efectos en el mecanizado de la pieza de trabajo.

La Fig. 5 ilustra un engranaje mecanizado incorrectamente. Todos los dientes 52 están dañados en sus áreas de cabeza porque el engranaje estaba engranado con la muela abrasiva en una posición angular incorrecta, de modo que los pasos de la muela abrasiva no podían entrar correctamente en los espacios entre dientes del engranaje. Tal situación puede ocurrir si la operación de centrado transcurrió erróneamente o si la rueda dentada no se transportó correctamente durante la aceleración del husillo portapiezas hasta su velocidad de régimen. Esta situación conduce a menudo no solo a un daño del engranaje, sino también a descascarillados masivos de la muela abrasiva. Por lo tanto, esta situación debería detectarse e impedirse lo antes posible.

Indicaciones de posibles melladuras de muelas abrasivas mediante supervisión de proceso

Para evitar en la medida de lo posible las melladuras de muela abrasiva o para poder detectar las melladuras realizadas en una etapa temprana, varios parámetros operativos se supervisan continuamente durante el mecanizado de un lote de producción. Los parámetros o magnitudes derivadas de los mismos también se almacenan en una base de datos para poder realizar también análisis posteriores. De particular importancia en el presente contexto son las velocidades de giro, las posiciones angulares y el consumo de corriente de los husillos portaherramientas, portapiezas y de reavivado, la velocidad de giro y la posición angular de la propia pieza de trabajo, las señales de la sonda de centrado, así como las posiciones de los ejes lineales de la máquina. En el ejemplo de realización de las Figuras 1 a 3, el aparato de control 42 se utiliza para la supervisión. En particular, se supervisan los parámetros operativos de la rectificadora por generación que se analizan a continuación:

(a) Averiguación de errores de mecanizado previo con ayuda de la sonda de centrado

La Fig. 6 ilustra señales típicas recibidas por la sonda de centrado 24. Estas son señales binarias que indican un uno lógico cuando hay un área de cabeza de diente frente a la sonda de centrado e indican un cero lógico cuando hay un espacio entre dientes frente a la sonda de centrado. El ancho de pulso Pb y el factor de trabajo de pulso de las señales de la sonda de centrado derivado de él son a este respecto una medida del grosor de diente y por lo tanto de la divergencia entre el grosor medido y el grosor teórico ("indicador de medida"). En la parte (a) de la Fig. 6, el ancho de pulso Pb es pequeño, lo que indica una divergencia pequeña (posiblemente incluso negativa), mientras que en la parte (b) el ancho de pulso Pb es grande, lo que indica una divergencia grande (posiblemente demasiado grande). La variación del ancho de pulso Pb se ha representado a este respecto exagerado deliberadamente en la Fig. 6 con fines ilustrativos.

El patrón de señal de la sonda de centrado 24 se puede usar así para deducir directamente la divergencia de cada diente. A partir de esto, pueden deducirse indicaciones de errores de mecanizado previo, como divergencia demasiado grande o irregular.

El aparato de control 42 recibe las señales de la sonda de centrado y las utiliza para derivar un indicador de advertencia que señala si hay indicaciones de errores de mecanizado previo. Si este es el caso, el mecanizado se detiene antes de que haya contacto entre la pieza de trabajo 23 y la muela abrasiva 16 para evitar que la muela abrasiva 16 se dañe. Además, el indicador de advertencia puede activar una inspección de la muela abrasiva para buscar daños causados por piezas de trabajo anteriores.

(b) Supervisión de las velocidades de giro de husillo portapiezas y pieza de trabajo

La Fig. 7 ilustra cómo la velocidad de giro n_w del husillo portapiezas 21 y la velocidad de giro resultante de la pieza de trabajo 23 sujeta sobre él se comparan entre sí. La velocidad de giro n_w del husillo portapiezas 21 puede leerse directamente desde el sistema de control de máquina (parte (a) de la Fig. 7). En cambio, la velocidad de giro de la pieza de trabajo se fija a su vez con la ayuda de la sonda 24 de centrado. A este respecto, la parte (b) de la Fig. 7 muestra señales típicas como las que recibe la sonda 24 de centrado. En el presente ejemplo, las señales presentan una duración P_d progresivamente decreciente, mientras que el husillo portapiezas ya ha alcanzado la velocidad de giro teórica. Por lo tanto, indican que la pieza de trabajo 23 sigue acelerando mientras que el husillo portapiezas 21 ya ha alcanzado su velocidad de giro nominal. Por lo tanto, la pieza de trabajo 23 no se transporta correctamente en el husillo portapiezas 21 en el presente ejemplo.

Tal caso puede ocurrir si se exceden los valores de tolerancia durante el mecanizado previo de las bases de sujeción de la pieza de trabajo, como taladro y lados planos. La pieza de trabajo se transporta por regla general en una conexión de fricción definida; es decir, cuando una pinza portapiezas se expande, un par de fricción actúa sobre el taladro de pieza de trabajo y una presión de contacto axial genera una fuerza de fricción radial en ambos lados planos. Sin embargo, si el taladro de pieza de trabajo es demasiado grande y/o los lados planos están demasiado torcidos, entonces esta conexión de fricción se reduce y, a partir de un valor crítico, se produce un resbalamiento entre el husillo portapiezas y la pieza de trabajo.

Si se encuentran desviaciones entre las velocidades de giro de la pieza de trabajo y el husillo portapiezas, tiene sentido detener inmediatamente el mecanizado adicional para evitar que se dañe la muela abrasiva 16. Dado que no puede descartarse que se haya producido ya anteriormente un daño de la muela abrasiva 16 también es útil examinar la muela abrasiva 16 para buscar daños.

Para este fin, el aparato de control 42 supervisa las señales de la sonda de centrado 24, así como las señales de velocidad de giro del husillo portapiezas del módulo de eje 41 asociado. En caso de una desviación, el aparato de control 42 establece un indicador de advertencia. El mecanizado se detiene mediante el indicador de advertencia antes de que se produzca un contacto entre la pieza de trabajo 23 y la muela abrasiva 16. Además, el indicador de advertencia puede activar una inspección de la muela abrasiva para buscar daños causados por piezas de trabajo anteriores.

(c) Supervisión del ángulo de giro de husillo portapiezas y pieza de trabajo

Como alternativa o adicionalmente a la comparación de las velocidades de giro, los ángulos de giro del husillo portapiezas y la pieza de trabajo asociada también pueden compararse antes y después del mecanizado. Incluso si hay desviaciones en este caso, esto indica la presencia de resbalamiento, y es útil examinar la muela abrasiva 16 para buscar posibles daños. En consecuencia, el aparato de control 42 también establece un indicador de advertencia en este caso.

(d) Supervisión de la potencia de arranque de virutas actual

En la Fig. 8 se ilustra otra posibilidad para la detección temprana de posibles melladuras de muelas abrasivas. Esto muestra en la curva de medición 61 el consumo de corriente I_s del husillo portaherramientas en función del tiempo durante el mecanizado de una sola pieza de trabajo. El consumo de corriente I_s del husillo portaherramientas es un indicador directo de la potencia de arranque de virutas actual. En este sentido, puede entenderse como un ejemplo de señal de potencia de arranque de virutas.

En el presente ejemplo, la curva 61 muestra un aumento repentino pronunciado y una caída subsiguiente pronunciada de este consumo de corriente al comienzo del mecanizado. Esto indica que se ha producido una colisión de uno de los dientes de la pieza de trabajo con un paso de tornillo sin fin de la muela abrasiva 16. También en este caso es útil detener inmediatamente el mecanizado posterior y examinar la muela abrasiva 16 para buscar posibles daños. Nuevamente, el aparato de control 42 establece un indicador de advertencia correspondiente.

(c) Supervisión de la energía de arranque de virutas por pieza de trabajo

Otra opción para detectar (aunque de manera relativamente tardía) las posibles melladuras de la muela abrasiva es supervisar la energía empleada para el mecanizado por arranque de virutas de cada pieza de trabajo ("energía de arranque de virutas"). Esta es una medida de la cantidad de material mecanizado por arranque de virutas durante el mecanizado de la pieza de trabajo en cuestión. Cuando se mecaniza con un área de tornillo sin fin de rectificar dañada por una melladura, la cantidad de material arrancado por virutas es generalmente menor que cuando se mecaniza con un área de tornillo sin fin de rectificar que no está dañada. Por lo tanto, es posible obtener indicaciones de posibles melladuras de muela abrasiva mediante la supervisión de la energía de arranque de viruta por pieza de trabajo.

Esto se ilustra con más detalle en las figuras 9 y 10. La figura 9 muestra en la curva de medición 62 el consumo de corriente I_s del husillo portaherramientas en función del tiempo durante el mecanizado de una sola pieza de trabajo con un tornillo sin fin de rectificar intacto. La curva de medición 63, por otro lado, representa la progresión del consumo de corriente durante el mecanizado con un tornillo sin fin de rectificado en el área de una gran melladura. Debido a la melladura, la potencia de arranque de viruta y, por lo tanto, el consumo de corriente del husillo portaherramientas se reducen considerablemente. La integral del consumo de corriente durante el tiempo requerido para el mecanizado de una pieza de trabajo individual (es decir, el área bajo la curva de medición respectiva) es una medida de la energía de arranque de virutas total que se ha aplicado para la pieza de trabajo, es decir, para la cantidad de material mecanizado por arranque de virutas por pieza de trabajo. En el mecanizado en el área de melladura de muela abrasiva, esta integral es más pequeña que durante el mecanizado con un área no dañada de la muela abrasiva.

En lugar de la integral del consumo de corriente, también pueden utilizarse otras magnitudes como medida de la energía de arranque de virutas total, por ejemplo, el valor medio, el máximo (dado el caso, después de una operación de alisado para ocultar valores atípicos) o el resultado de un ajuste a una forma especificada del recorrido de la corriente. La medida de la energía de arranque de virutas total también se denomina indicador de energía de arranque de virutas en el presente contexto.

La Fig. 10 ilustra cómo el consumo de corriente medio I_{av} del husillo portaherramientas cambia durante el mecanizado de pieza de trabajo a pieza de trabajo N cuando la muela abrasiva está dañada. El mecanizado comienza con una muela abrasiva que presenta una gran melladura central. Al comienzo del ciclo de mecanizado, las piezas de trabajo se mecanizan con un primer extremo intacto de la muela abrasiva. En el curso del mecanizado, la muela abrasiva se desplaza continuamente, de modo que el área con la melladura se usa cada vez más para el mecanizado. Hacia el final del ciclo, el extremo opuesto de la muela abrasiva, que también está intacto, se engrana con la pieza de trabajo. En consecuencia, el consumo de corriente medio I_{av} del husillo portaherramientas disminuye inicialmente para aumentar de nuevo hacia el final del ciclo. Resulta una progresión característica del consumo de corriente I_{av} medio desde la primera hasta la enésima pieza de trabajo.

En cada caso en el punto 65 termina un ciclo que, la muela abrasiva se aviva y comienza un nuevo ciclo. Durante el avivado, los pasos de tornillo sin fin dañados se restauran gradualmente, de modo que los cambios en el consumo de corriente medio I_{av} se hacen cada vez más pequeños en ciclos posteriores.

Por lo tanto, un recorrido de corriente 64, como se muestra a modo de ejemplo en la Fig. 10, puede evaluarse como indicio de la melladura de la muela abrasiva. Para comprobar si realmente se ha producido una melladura, en este caso tiene sentido detener el mecanizado y examinar la muela abrasiva en cuanto a posibles daños. Para este propósito, el aparato de control 42 también establece un indicador de advertencia correspondiente en este caso.

Inspección automatizada de la muela abrasiva en cuanto a melladuras

Puede tener lugar una inspección de la muela abrasiva en busca de posibles daños al recorrer una herramienta de avivado la muela abrasiva en el área de cabeza de sus pasos de tornillo sin fin y al detectarse el contacto entre la muela abrasiva y la herramienta de reavivado.

La detección del contacto puede realizarse acústicamente, como se ilustra en la Fig. 11. La evolución en el tiempo de una señal acústica V_a se muestra como un ejemplo de una curva de medición 71, como puede averiguarse, por ejemplo, mediante el sensor acústico 18 representado en la figura 2, durante una operación de reavivado en el que la herramienta de reavivado se pone en contacto deliberadamente sólo con las zonas de cabeza de los pasos de tornillo sin fin. La señal señala cuándo el reavivador se engrana y se desengrana con las áreas de cabeza. Puede esperarse una señal periódica en el caso de una muela abrasiva en buen estado. En cambio, si la señal presenta huecos, como muestra el espacio 72 en la Fig. 11, esto señala una melladura en un paso de tornillo sin fin.

Alternativamente, también puede iniciarse directa y automáticamente una operación de rectificado, como se describe a continuación, ya que también puede detectarse de forma fiable si hay melladuras de muelas abrasivas durante el reavivado. Sin embargo, es desventajoso que debe utilizarse una velocidad de giro de muela abrasiva mucho más baja durante el reavivado, lo que significa que el tiempo improductivo para esta medida de control aumenta en cierta medida.

También son concebibles otros procedimientos para inspeccionar automáticamente la muela abrasiva para buscar

daños. Por ejemplo, es posible examinar la muela abrasiva para buscar daños usando un sensor óptico, o es posible examinar la muela abrasiva para buscar daños mediante el ruido que provoca el chorro de refrigerante de la boquilla de refrigerante 19 cuando incide en la muela abrasiva. Las mediciones de ruido estructural a través del chorro de refrigerante son conocidas en sí mismas (véase, por ejemplo, Klaus Nordmann, "*Prozessüberwachung beim Schleifen und Abrichten*", *Schleifen + Polieren* 05/2004, Fachverlag Möller, Velbert (DE), páginas 52-56), pero no se utilizaron para detectar melladuras de muelas abrasivas.

Caracterización adicional de la melladura de la muela abrasiva

Una vez que se ha confirmado una melladura ha sido confirmada con certeza de esta manera, es razonable reavivar completamente el tornillo sin fin de rectificar y determinar a este respecto de ese modo otras características de la viruta y/o eliminar la melladura. Esto se ilustra en las figuras 12 y 13.

La figura 12 ilustra cómo puede caracterizarse con más detalle una melladura de muela abrasiva mediante mediciones de corriente durante el reavivado. La parte (a) de la figura 12 muestra una curva de medición 81 que muestra una evolución típica del consumo de corriente I_d del husillo de rectificado en función del tiempo al reavivar una muela abrasiva cuando la muela abrasiva está desgastada uniformemente y no presenta melladuras. La curva de medición 81 está siempre por encima de una curva envolvente inferior 82. La parte (b) muestra la evolución del consumo de corriente I_d para una muela abrasiva con una sola melladura profunda. En el período en el que la herramienta de reavivado está trabajando en el área de la melladura de muela abrasiva, el consumo de energía I_d muestra fuertes fluctuaciones, en particular una fuerte caída.

En el caso más simple, tales fluctuaciones pueden detectarse supervisando si el valor del consumo de corriente cae por debajo de la curva envolvente inferior 82. En áreas en las que este es el caso, se puede deducirse una melladura de muela abrasiva. Por supuesto, también se pueden usar métodos más sofisticados para detectar fluctuaciones en el consumo de corriente. Por ejemplo, se puede formar un valor medio 83 del consumo de corriente actual y se puede supervisar si las desviaciones del mismo son hacia abajo (en este caso: en el valor mínimo 84) y/o hacia arriba (en este caso: en el valor máximo 85) dentro de una cierta banda de tolerancia. Independientemente de cómo se detecten en detalle las fluctuaciones, la posición de la melladura a lo largo del paso de tornillo sin fin afectado puede deducirse del momento o del ángulo de giro en el que se producen las fluctuaciones. De la magnitud de las fluctuaciones puede deducirse el grado de daño del paso de tornillo sin fin.

La Fig. 13 ilustra que no solo el consumo de corriente del husillo de avivado sino también el consumo de corriente del husillo portaherramientas se puede utilizar para caracterizar melladuras de la muela abrasiva. La parte (a) muestra la evolución en el tiempo del consumo de corriente I_d del husillo de avivado, en la parte (b) la evolución del consumo de corriente I_s del husillo portaherramientas durante el reavivado de una muela abrasiva con una melladura. Se detecta que no solo el consumo de corriente del husillo de reavivado, sino también el consumo de corriente del husillo portaherramientas muestra fluctuaciones durante el período en el que tiene lugar el reavivado en el área de la melladura. Sin embargo, estas fluctuaciones son más pronunciadas en el consumo de corriente del husillo de reavivado, de modo que el consumo de corriente del husillo de reavivado por regla general se prefiere frente al consumo de corriente del husillo portaherramientas como magnitud medida para caracterizar una melladura de muela abrasiva.

La melladura de muela abrasiva caracterizado de esta manera puede eliminarse mediante un reavivado múltiple dado el caso. Si la melladura es muy grande y llevara demasiado tiempo eliminarla mediante el reavivado, también puede tener sentido prescindir de otros procesos de reavivado y, en su lugar, reemplazar la muela abrasiva dañada o utilizar solo el tornillo sin fin de rectificar en sus áreas no dañadas para el mecanizado posterior de la pieza de trabajo.

Ejemplo de un procedimiento para el control de proceso automático

Las figuras 14 y 15 ilustran, a modo de ejemplo, un posible procedimiento para el control de proceso automático que implementa las consideraciones anteriores.

En la operación de mecanizado 110, las piezas de trabajo de un lote de piezas de trabajo se mecanizan sucesivamente con la rectificadora por generación. Antes y durante el mecanizado 111 de cada pieza de trabajo, en la etapa de supervisión 112, entre otras cosas, se determinan y supervisan las magnitudes medidas explicadas anteriormente. En particular, el ancho de pulso P_b de las señales de la sonda de centrado se supervisa para constatar si hay errores de mecanizado previo. Además, se supervisa si la diferencia entre la velocidad de giro n_w del husillo portapiezas y la velocidad de giro n_A de la pieza de trabajo es mayor en términos de se determina que un valor umbral (seleccionado pequeño) n_t . Además, se supervisa si la diferencia entre el cambio de ángulo $\Delta\phi_w$ del husillo portapiezas y el cambio de ángulo $\Delta\phi_A$ de la pieza de trabajo en el transcurso del mecanizado es mayor en términos de cantidad que un valor umbral (seleccionado también pequeño) $\Delta\phi_t$.

Además, la evolución del consumo de corriente $I_s(t)$ del husillo portaherramientas se supervisa para cada pieza de trabajo y se supervisa el cambio de la corriente de husillo $I_{av}(N)$ promediada de pieza de trabajo a pieza de trabajo N. Un indicador de advertencia W se determina continuamente en la etapa 113 a partir del resultado de estas

supervisiones.

Basándose en el indicador de advertencia, las siguientes decisiones se toman automáticamente en una etapa de decisión 114:

- 5 1. Cuando el indicador de advertencia no señala ningún problema (por ejemplo, siempre que sea menor que un valor de umbral W_t), el mecanizado de la pieza continúa normalmente.
- 10 2. Cuando el indicador de advertencia indica un posible problema, el mecanizado de la pieza de trabajo se detiene temporalmente. El indicador de advertencia se utiliza para decidir si la pieza de trabajo se debe clasificar de inmediato (esto tiene sentido, por ejemplo, si el indicador de advertencia indica un mecanizado previo defectuoso o una sujeción propensa a resbalones de la pieza de trabajo), o si la muela abrasiva debe ser inspeccionada primero.

15 A continuación, en la etapa 120, se supervisa la muela abrasiva para buscar una posible melladura. En el presente ejemplo, en la etapa 121, el área de cabeza de las roscas de tornillo sinfín de rectificado se recorre con la herramienta de avivado. En la etapa 122, mediante mediciones acústicas o mediciones de corriente se determina si hay contacto entre la herramienta de avivado y el tornillo sinfín de rectificado, y se emite una señal de contacto en consecuencia. En la etapa 123, a partir de la evolución en el tiempo de la señal de contacto se fija un indicador de melladura A. En la etapa de decisión 124 se comprueba si el indicador de melladura A supera un valor umbral A_t fijado.

20 Si este no es el caso, el mecanizado de pieza de trabajo continúa. A este respecto, dado el caso, la potencia de desprendimiento se reduce para disminuir la probabilidad de que el indicador de advertencia señale nuevamente posibles problemas con las piezas de trabajo posteriores.

25 Si, por el contrario, el indicador de melladura supera el valor umbral, la melladura de muela abrasiva se caracteriza con más detalle en la operación 130 y, dado el caso, se elimina. Para ello, la muela abrasiva se reaviva por regla general con varias carreras de reavivado (etapa 131), y se determina una señal de potencia de reavivado para cada carrera de reavivado durante el reavivado (etapa 132). Con cada carrera de reavivado, se determina una medida de melladura M a partir de la señal de potencia de reavivado (etapa 133). En la etapa de decisión 134, se comprueba si la medida de melladura M señala que la melladura puede eliminarse razonablemente. Si no es así, se verifica adicionalmente en la etapa de decisión 136 si la melladura se limita a un área lo suficientemente pequeña de la muela abrasiva como para que el mecanizado aún pueda continuar con las áreas no dañadas de la muela abrasiva. Si esto tampoco es razonablemente posible, en la etapa 137 se encarga al operador el cambio de la muela abrasiva. Si, por el contrario, la medida de melladura M señala que es razonablemente posible eliminar la melladura mediante rectificado, se verifica en la etapa de decisión 135 si la operación de reavivado realizada por último fue suficiente para eliminar la melladura. Si este es el caso, el mecanizado continúa (etapa 138). De lo contrario, la operación de caracterización y eliminación 130 se repite hasta que la medida de melladura M señala que la melladura se ha eliminado adecuadamente, y el mecanizado continúa de nuevo.

40 En general, puede tomarse una decisión automática, rápida y confiable para cada pieza de trabajo sobre si se puede realizar un mecanizado o si se debe verificar por separado un mecanizado completo en caso de duda.

Modificaciones

45 Si bien la invención se ha explicado anteriormente sobre la base de ejemplos de realización preferidos, la invención no se limita de ninguna manera a estos ejemplos, y son posibles numerosas modificaciones sin apartarse del ámbito de la invención. Por lo tanto, la rectificadora por generación también se puede construir de manera diferente a los ejemplos descritos anteriormente, como es bien conocido por el experto en la materia. Por supuesto, el procedimiento descrito también puede comprender otras medidas para la supervisión y toma de decisiones.

Más consideraciones

50 En resumen, la presente invención se basa en las siguientes consideraciones: A pesar de la complejidad en el rectificado por generación, el objetivo de la producción automatizada es un control de proceso robusto, que proporciona la calidad requerida lo más rápido y sin problemas posible. Además, tiene sentido asignar una documentación producida de manera automatizada a cada engranaje sobre su mecanizado y calidad final. Los datos en línea deben facilitarse para la rastreabilidad confiable de todas las etapas de producción relevantes con solo "presionar un botón" y para una optimización de proceso generalizada y/o una mayor eficiencia.

60 Por lo tanto, la invención utiliza medios que indican que se pueden detectar desviaciones de proceso, en particular melladuras de diferentes tamaños, y se emite una señal de advertencia. La señal de advertencia puede determinarse en particular utilizando señales de la sonda de centrado o midiendo valores de corriente en el husillo portaherramientas.

65 La señal de advertencia puede detener el mecanizado de inmediato, la pieza de trabajo total o parcialmente mecanizada se clasifica automáticamente como una pieza NO OK dado el caso usando el aparato de manipulación, y

el aparato de control determina y opcionalmente guarda la posición de desplazamiento o la posición Y del tornillo sin fin de rectificar en caso de un defecto. A continuación, se comprueba si hay melladuras en la muela abrasiva. Para ello, una cantidad mínima del área de cabeza del tornillo sin fin para rectificar se reaviva con un reavivador a la velocidad de trabajo del husillo de rectificado y a este respecto se registra la corriente y/o la señal de un sensor acústico para distinguir de forma fiable las melladuras. Alternativamente, tiene lugar una verificación para buscar melladuras con otro procedimiento, por ejemplo, ópticamente, acústicamente mediante un chorro de refrigerante o por medio de una carrera de avivado completa. Esta operación también puede realizarse a intervalos fijos y sin una señal de advertencia de la sonda de centrado, ya que le permite detectar melladuras más pequeñas en el tornillo sin fin de rectificado que no se han originado por piezas de trabajo mecanizadas erróneamente. Si esta medición detecta una melladura, el aparato de control toma las siguientes decisiones:

bloquear el mecanizado posterior del lote de producción y el área dañada en el tornillo sin fin de rectificado para su mecanizado posterior;
reavivar el tornillo sin fin de rectificado y posiblemente también mecanizar posteriormente con valores de arranque de virutas reducidos; o
Reemplazar el tornillo sin fin de rectificar y finalizar el mecanizado del lote de producción con un nuevo tornillo sin fin de rectificar.

Al reavivar la muela debe tenerse en cuenta que las primeras carreras de reavivado se suelen realizar con los valores de ajuste del lote de producción. Por lo tanto, en el caso de melladuras grandes y muy grandes, puede ser necesario un tiempo de reavivado prolongado. En este sentido un reavivado adaptativo o de autoaprendizaje puede llevar un gran ahorro de tiempo y no es necesario cambiar el tornillo sin fin de rectificado, lo que también requiere mucho tiempo.

Sin embargo, si esta medición no constata ninguna melladura en el tornillo sin fin de rectificar, aunque se haya determinado una señal de advertencia, el aparato de control toma las siguientes decisiones:

Mecanizado posterior del lote de producción con valores de arranque de virutas reducidos;
Detener el mecanizado del lote de producción e informar al usuario.

Para ello, puede llevarse a cabo una supervisión automática del proceso de un lote de producción durante el rectificado y el avivado mediante una rectificadora por generación CNC con tecnología de automatización periférica para el transporte de piezas de trabajo con ayuda de un aparato de control independiente con un servidor conectado. El aparato de control está configurado de manera que, para cada pieza de trabajo de un lote de producción, preferentemente todos los datos de sensor de la rectificadora por generación, los valores de ajuste y valores de mecanizado correspondientes, preferentemente los valores de corriente de los husillos portaherramientas, portapiezas y de reavivado y las señales de la sonda de centrado se registran permanentemente y se almacenan en un servidor. A este respecto opcionalmente, puede tener lugar una monitorización de componentes neutral en el tiempo para cada cambio de pieza de trabajo llevado a cabo automáticamente, lo que libera el mecanizado si no hay objeción. Entre otras cosas, se determina una señal de potencia de arranque de virutas y un indicador de energía de arranque de virutas, que se correlacionan con los otros datos en el aparato de control y después del mecanizado de las primeras piezas de trabajo también con los datos almacenados en el servidor. El indicador de advertencia puede emitirse entonces en una etapa temprana.

LISTA DE REFERENCIAS

1	rectificadora por generación
11	bancada de máquina
12	portaherramientas
13	carro axial
14	cabezal rectificador
15	husillo portaherramientas
16	muela abrasiva
17	palpador de medición
18	sensor acústico
19	boquilla de refrigerante
20	portapiezas
21	husillo portapiezas
22	contrapunto
23	pieza de trabajo
24	sonda de centrado
31	equipo pivotante
32	husillo de avivado
33	herramienta de avivado
40	sistema de control de máquina

41	módulo de eje
42	aparato de control
43	panel de mando CNC
44	servidor
51	melladura de la muela abrasiva
52	diente
61-63	curva de medición
64	evolución de corriente
65	momento de reavivado
71	curva de medición
72	hueco
81	curva de medición
82	curva envolvente
83	promedio
84	valor mínimo
85	valor máximo
110	operación de mecanizado
111	mecanizado de pieza de trabajo
112	supervisión
113	determinación de W
114	etapa de decisión
120	operación de detección de melladura
121	recorrido
122	determinación señal de contacto
123	determinación de A
124	etapa de decisión
130	caracterización/retirada
131	avivado
132	determinación potencia de avivado de avivado
133	determinación de M
134-136	etapas de decisión
137	cambiar muelas abrasivas
138	mecanizado adicional
a.u.	unidad arbitraria (en inglés: unidad arbitraria)
A	indicador de melladura
A _t	valor umbral del indicador de melladura
B	eje de herramienta
C1	eje de pieza de trabajo
C3	eje de pivotado de portapiezas
C4	eje de pivotado del aparato de avivado
I _{av}	consumo de corriente medio del husillo portaherramientas
I _d	consumo de corriente del husillo de reavivado
I _s	consumo de corriente del husillo portaherramientas
M	medida de melladura
n _A	velocidad giro de la pieza de trabajo
n _t	valor umbral de diferencia de velocidad de giro
n _W	velocidad de giro del husillo de pieza de trabajo
N	número de piezas de trabajo en el lote
Pb	ancho de pulso de la señal de centrado/diente
Pd	duración del período de señal de la señal de centrado/diente
t	tiempo
V _a	señal acústica
W	indicador de advertencia
W _t	valor umbral del indicador de advertencia
X	dirección de aproximación
Y	eje de desplazamiento
Z	dirección axial
Δφ _A	cambio de ángulo de la pieza de trabajo
Δφ _t	valor umbral de diferencia de cambio de ángulo

$\Delta\varphi_w$ cambio de ángulo del husillo de la pieza

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para el control de proceso automático durante el rectificado por generación continua de piezas de trabajo (23) dentadas previamente con una rectificadora por generación (1),

en donde la rectificadora por generación (1) presenta un husillo portaherramientas (15) y al menos un husillo portapiezas (21), en donde una muela abrasiva (16) perfilada en forma de tornillo sin fin con uno o más pasos de tornillo sin fin está sujeta sobre el husillo portaherramientas (15), en donde la muela abrasiva (16) puede girar alrededor de un eje de herramienta (B) y en donde las piezas de trabajo (23) pueden sujetarse sobre el al menos un husillo portapiezas (21), en donde el procedimiento presenta:

mecanizado de las piezas de trabajo (23) con la rectificadora por generación (1), en donde las piezas de trabajo (23) se sujetan sobre el al menos un husillo portapiezas (21) y se engranan por rodadura sucesivamente con la muela abrasiva (16); y supervisión de al menos una magnitud medida durante el mecanizado de las piezas de trabajo (23),

en donde a partir de la al menos una magnitud medida supervisada se determina un indicador de advertencia (W) para una desviación de proceso no permitida,

caracterizado

por que el indicador de advertencia (W) es un indicador de advertencia para una melladura de muela abrasiva (19), y

por que se realiza una inspección automática de la muela abrasiva (16) para buscar una melladura de muela abrasiva (19) cuando el indicador de advertencia (W) indica una melladura de muela abrasiva (19).

2. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la rectificadora por generación (1) presenta un equipo de reavivado (30) con una herramienta de reavivado (33), y en donde la inspección automática de la muela abrasiva (16) para buscar una melladura de muela abrasiva (19) comprende las siguientes etapas:

recorrer un área de cabeza de la muela abrasiva (16) con la herramienta de avivado (33); determinar una señal de contacto mientras se recorre el área de cabeza, en donde la señal de contacto señala un contacto de la herramienta de avivado (33) con el área de cabeza de la muela abrasiva (16); y determinar un indicador de melladura (A) mediante el análisis de la señal de contacto, en donde el indicador de melladura (A) señala si se presenta una melladura de muela abrasiva (19).

3. Procedimiento según la reivindicación 2, en donde la rectificadora por generación presenta un sensor acústico (18) para detectar acústicamente el engrane de la herramienta de reavivado (33) con la muela abrasiva (16), y en donde la señal de contacto comprende una señal acústica (V_a) que se determina con la ayuda del sensor acústico (18).

4. Procedimiento según la reivindicación 2 o 3, en donde el equipo de reavivado (30) presenta un husillo de reavivado (32) sobre el que se sujeta la herramienta de reavivado (33), y en donde la señal de contacto comprende una señal de potencia de reavivado de cabeza que es representativa del consumo de potencia. del husillo de reavivado (32) durante el recorrido por la zona de cabeza.

5. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 4, en donde el indicador de melladura (A) señala una ubicación de melladura de muela abrasiva (19) a lo largo de al menos uno de los pasos de tornillo sin fin en la muela abrasiva (16).

6. Procedimiento según una de las reivindicaciones 2 a 5, en donde el procedimiento comprende:

avivar la muela abrasiva (16) cuando el indicador de melladura (A) señala la presencia de una melladura de muela abrasiva (19).

7. Procedimiento según la reivindicación 1, en donde la rectificadora por generación (1) presenta un equipo de reavivado (30) con una herramienta de reavivado (33), y en donde la inspección automática de la muela abrasiva (16) para buscar una melladura de muela abrasiva (19) comprende un avivado de la muela abrasiva (16) con al menos una carrera de avivado.

8. Procedimiento según la reivindicación 6 o 7, en donde el procedimiento comprende:

determinar una señal de potencia de reavivado durante el reavivado, en donde la señal de potencia de reavivado es representativa del consumo de potencia del husillo de reavivado (32) o del husillo portaherramientas (15) durante el reavivado;

determinar una medida de melladura (M) mediante el análisis de la evolución de la señal de potencia de reavivado durante el reavivado, en donde la medida de melladura (M) refleja al menos una característica de la melladura de muela abrasiva; y

repetir el reavivado de la muela abrasiva dependiendo de la dimensión de la medida de melladura (M),

en donde el análisis de la evolución de la señal de potencia de reavivado incluye preferentemente:
determinar una magnitud de variación, en donde la magnitud de variación señala cambios locales en la magnitud de la señal de potencia de reavivado a lo largo de al menos uno de los pasos de tornillo sin fin.

5 9. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

en donde la al menos una magnitud medida supervisada comprende un indicador de divergencia (P_b) para una divergencia de grosor de diente de la pieza de trabajo (23) antes del mecanizado; y/o

10 en donde la al menos una magnitud medida supervisada comprende una desviación de la velocidad de giro entre una velocidad de giro (n_A) del husillo portapiezas (21) y una velocidad de giro resultante (n_W) de la pieza de trabajo (23), y/o

15 en donde la al menos una magnitud medida supervisada comprende una desviación angular, que se determinó comparando una posición angular del husillo portapiezas (21) después del mecanizado de la pieza de trabajo (23), una posición angular asociada de la propia pieza de trabajo (23), una posición angular del husillo portapiezas (21) antes del mecanizado de la pieza de trabajo y una posición angular asociada de la propia pieza de trabajo, en donde la rectificadora por generación presenta preferentemente una sonda de centrado (24) para fijar una posición angular de una pieza de trabajo (23) sujeta en el al menos un husillo portapiezas (21) sin contacto, y en donde el indicador de divergencia (P_b), la velocidad de giro o la posición angular respectiva de la pieza de trabajo (23) se registra preferentemente con la sonda de centrado (24).

20 10. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde la al menos una magnitud medida supervisada comprende una señal de potencia de arranque de virutas que señala una potencia de arranque de virutas actual durante el mecanizado de cada pieza de trabajo (23) individual, y en donde el indicador de advertencia (W) depende de la evolución en el tiempo de la señal de potencia de arranque de virutas durante el mecanizado de una
25 pieza de trabajo, en particular, de la aparición de un aumento a modo de pulso en la señal de potencia de arranque de virutas durante el mecanizado, en donde la señal de potencia de arranque de virutas preferentemente es una medida del consumo de corriente actual (I_s) del husillo portaherramientas (15) durante el mecanizado de una pieza de trabajo (23).

30 11. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores,

en donde el procedimiento comprende la ejecución de un movimiento de desplazamiento continuo o discontinuo entre la muela abrasiva (16) y las piezas de trabajo (23) a lo largo del eje de herramienta (B);

35 en donde la al menos una magnitud medida supervisada comprende un indicador de energía de arranque de virutas (I_{av}) para cada pieza de trabajo (23), en donde el indicador de energía de arranque de virutas (I_{av}) representa una medida de un rendimiento de arranque de virutas integrado de la muela abrasiva (16) mientras la pieza de trabajo (23) respectiva se mecanizaba con la rectificadora por generación (1); y

40 en donde el indicador de advertencia (W) depende de cómo el indicador de energía de arranque de virutas (I_{av}) cambia durante la producción de varias piezas de trabajo (23) de un lote de producción, en donde el indicador de energía de arranque de virutas (I_{av}) es preferentemente una medida para la integral del consumo de corriente del husillo portaherramientas (15) durante el mecanizado de una pieza de trabajo individual (23).

45 12. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, en donde al menos una magnitud medida supervisada y/o al menos una magnitud derivada de la misma, en particular el indicador de advertencia (W), se almacena en una base de datos junto con un identificador unívoco de la pieza de trabajo (23) respectiva.

50 13. Rectificadora por generación (1), que presenta:

un husillo portaherramientas (15) en el que puede sujetarse una muela abrasiva perfilada en forma de tornillo sin fin (16) con uno o más pasos de rosca de tornillo sin fin y puede accionarse para girar alrededor de un eje de herramienta (B);

55 al menos un husillo portapiezas (21) para accionar en cada caso una pieza de trabajo (23) dentada previamente para girar alrededor de un eje de pieza de trabajo (C_1); y
- un sistema de control de máquina (40);

caracterizado por que el sistema de control de máquina (40) está configurado para realizar un procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores.

60 14. Programa informático que comprende instrucciones que hacen que un sistema de control de máquina (40) en una rectificadora por generación (1) según la reivindicación 13 realice un procedimiento según una de las reivindicaciones 1 a 12.

65 15. Medio legible por ordenador en el que está almacenado el programa informático de la reivindicación 14.

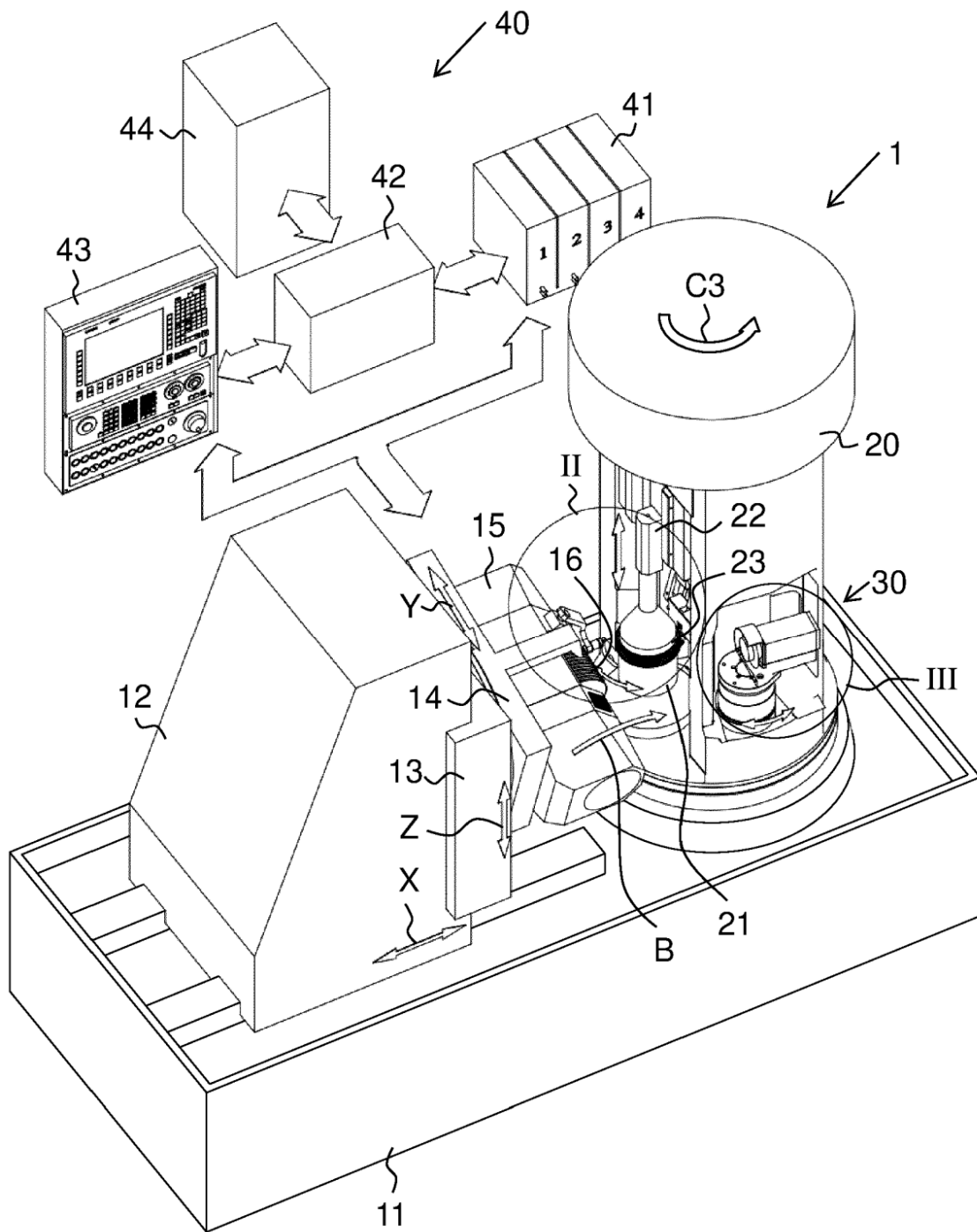


FIG. 1

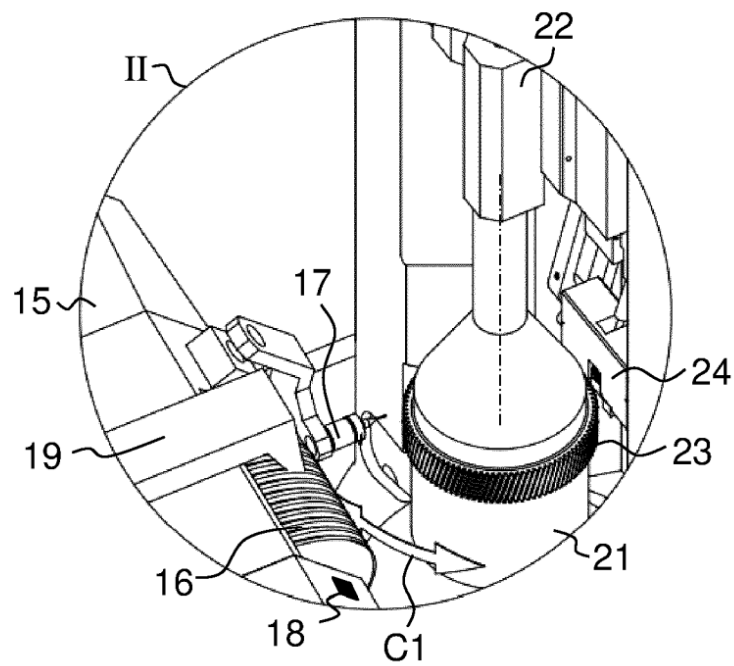


FIG. 2

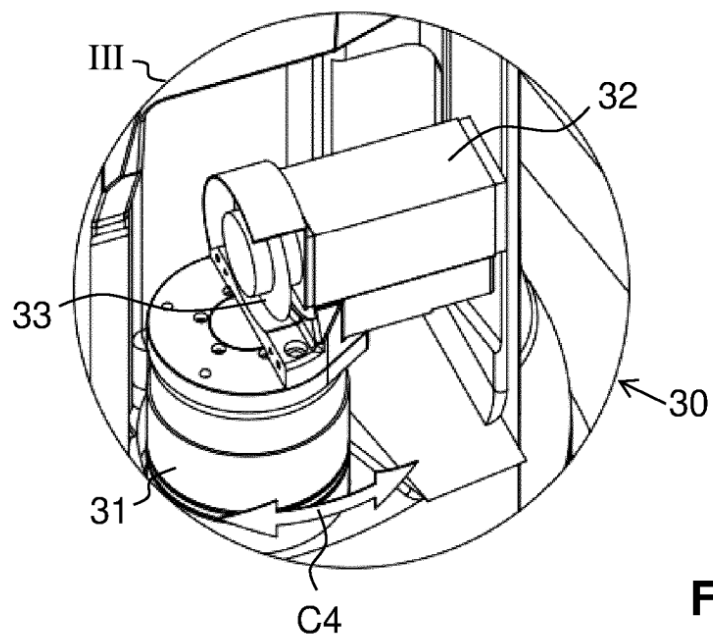


FIG. 3

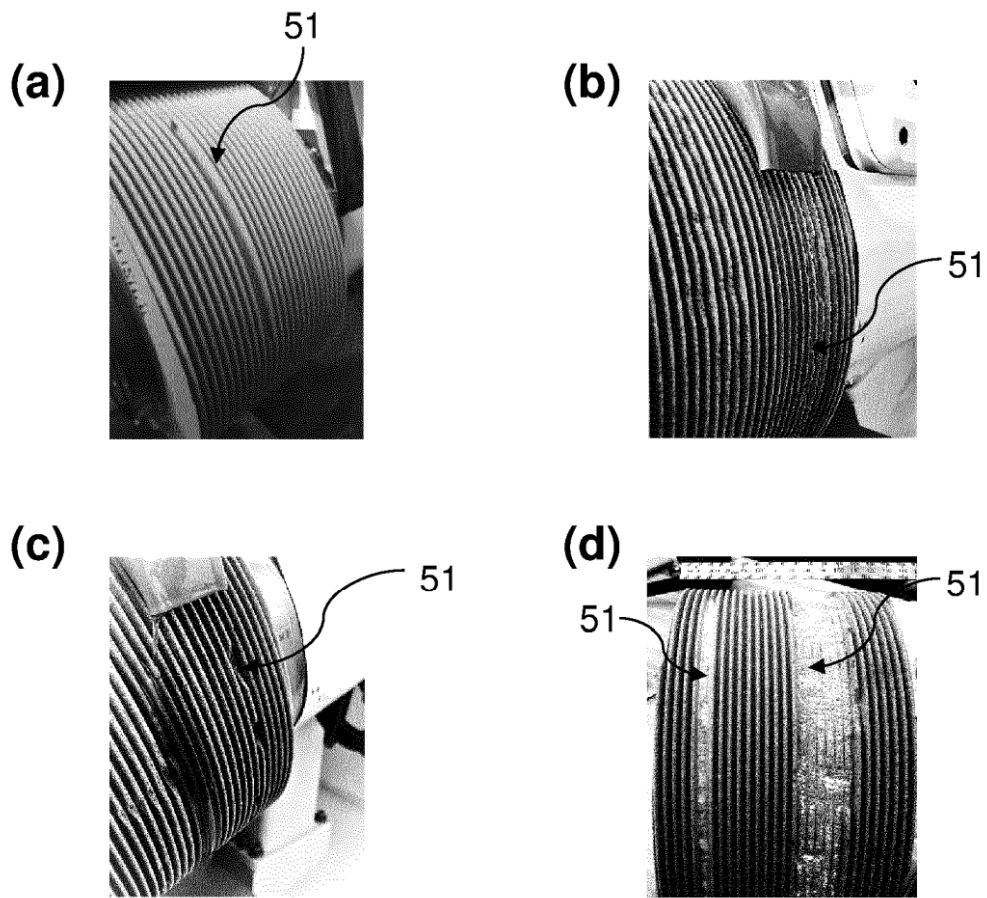


FIG. 4

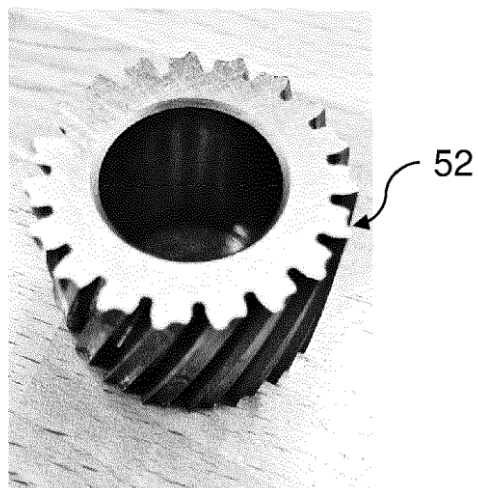


FIG. 5

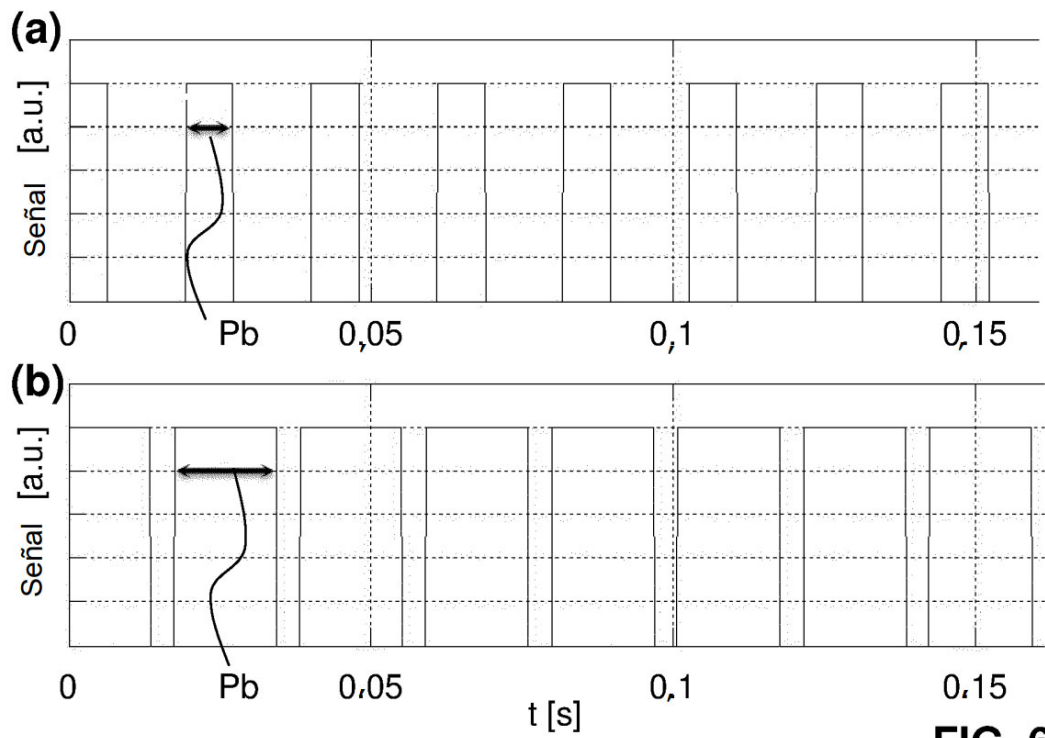


FIG. 6

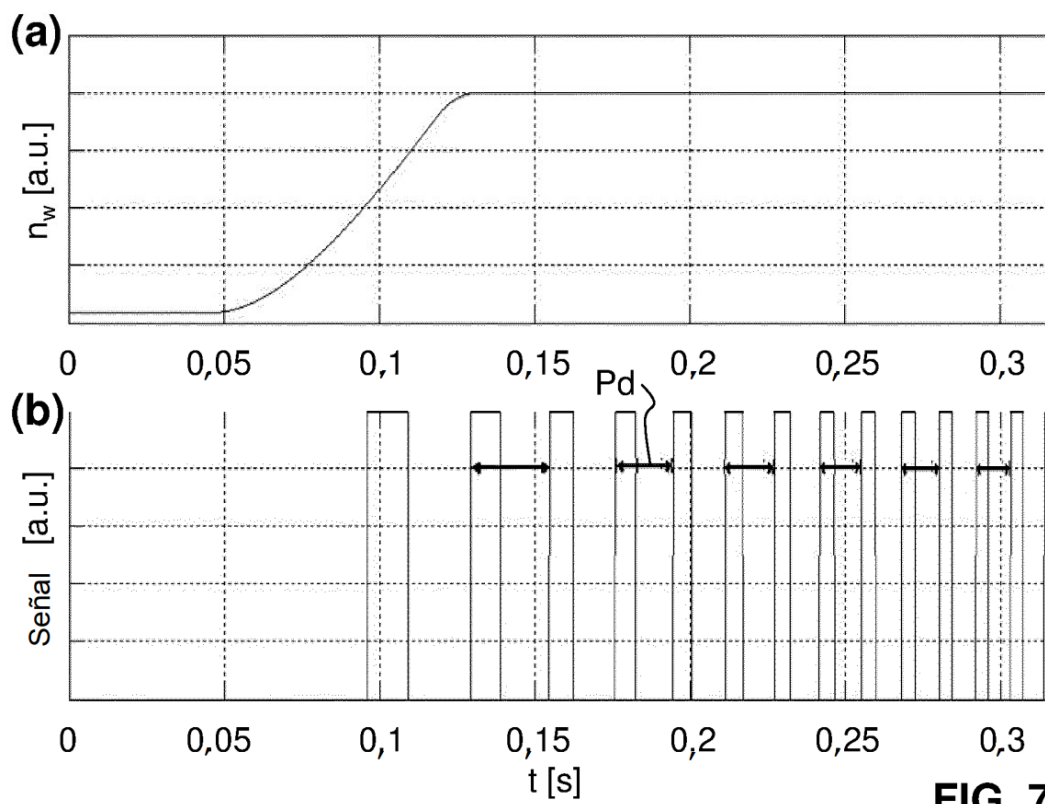
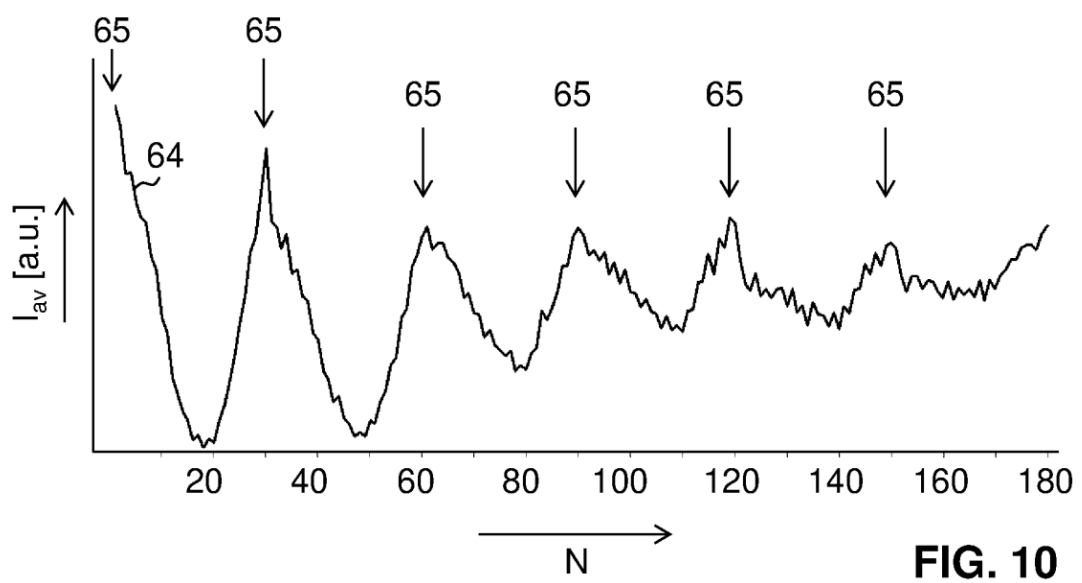
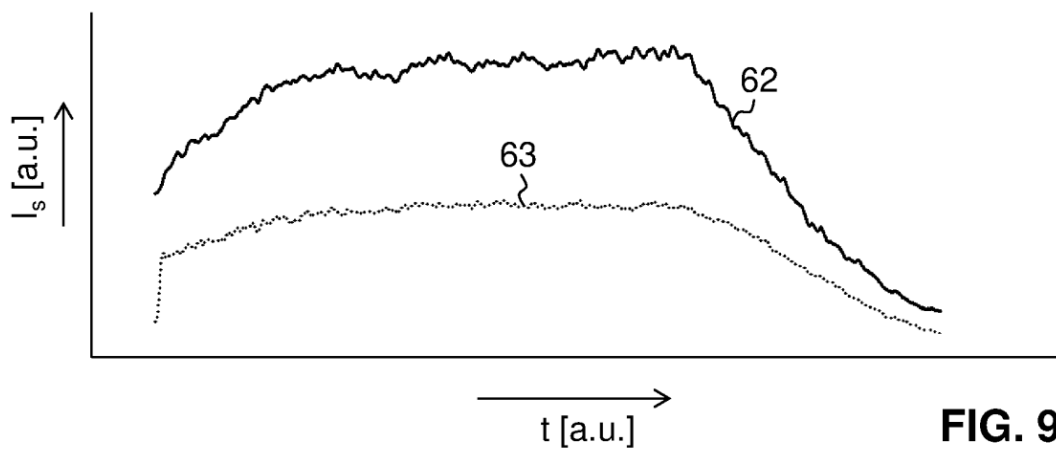
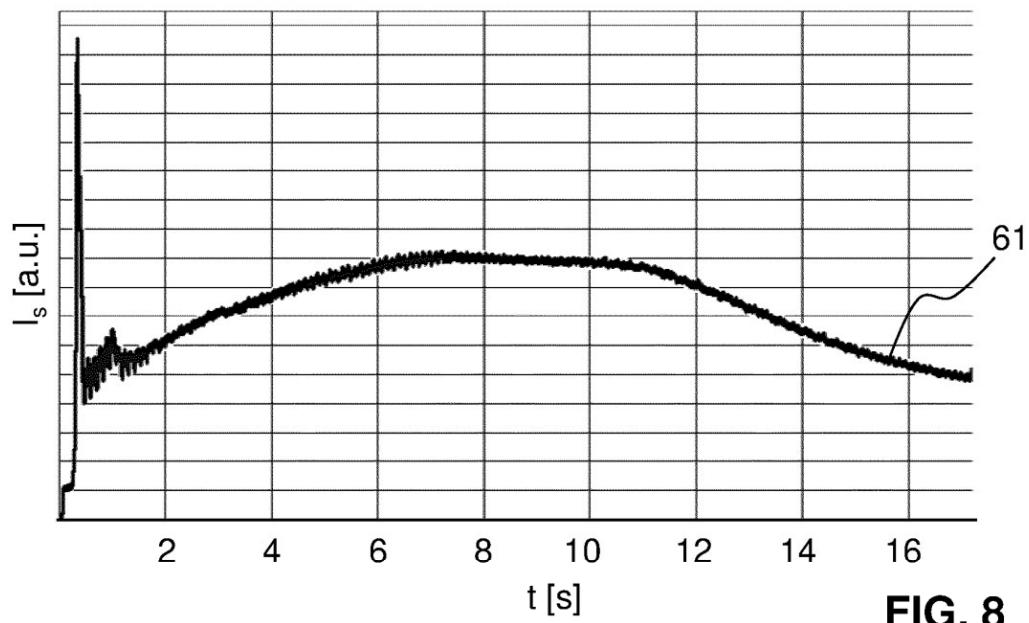
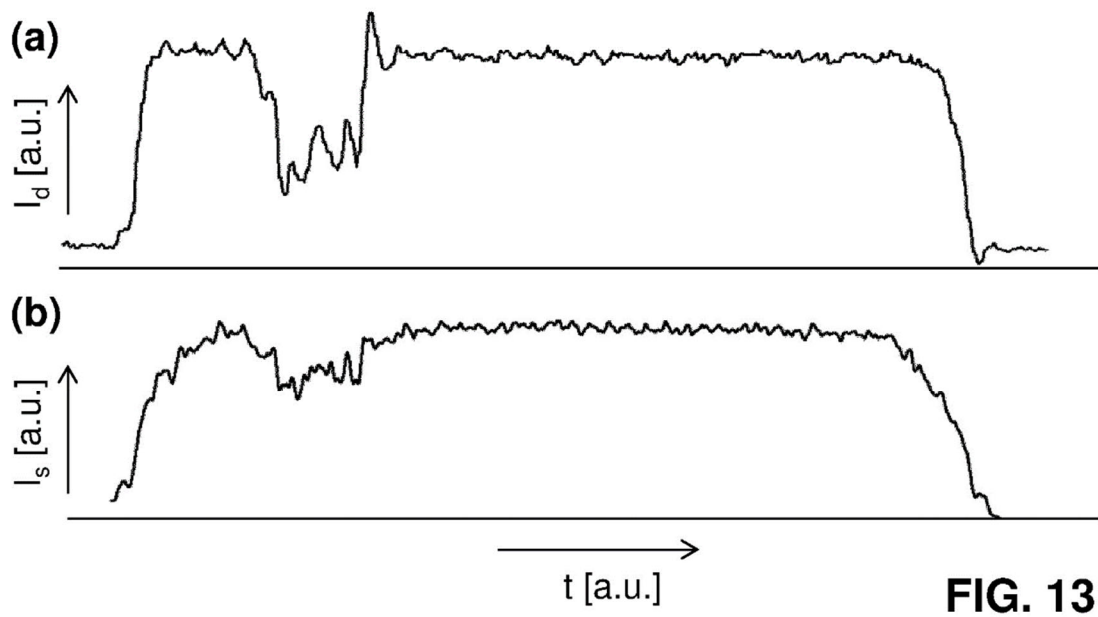
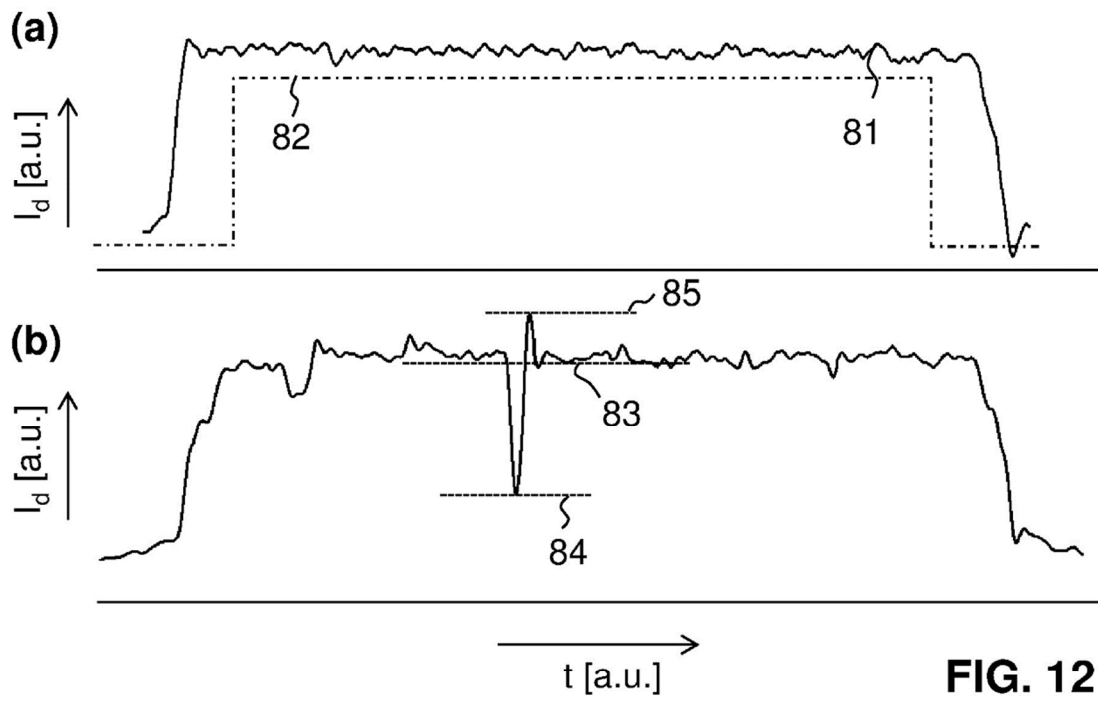
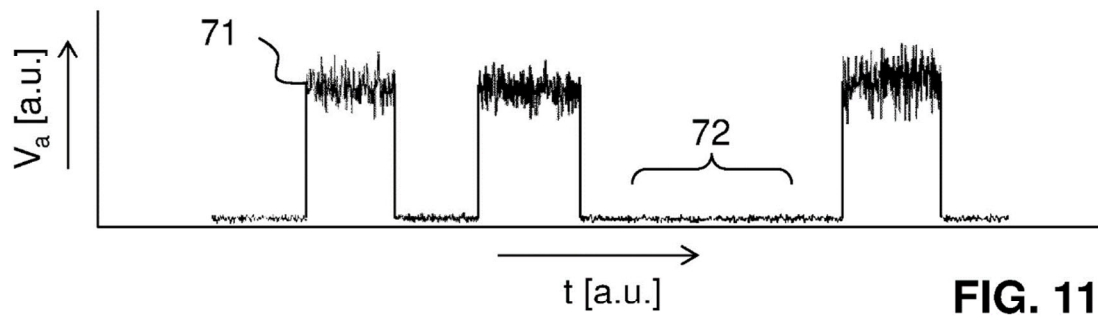


FIG. 7





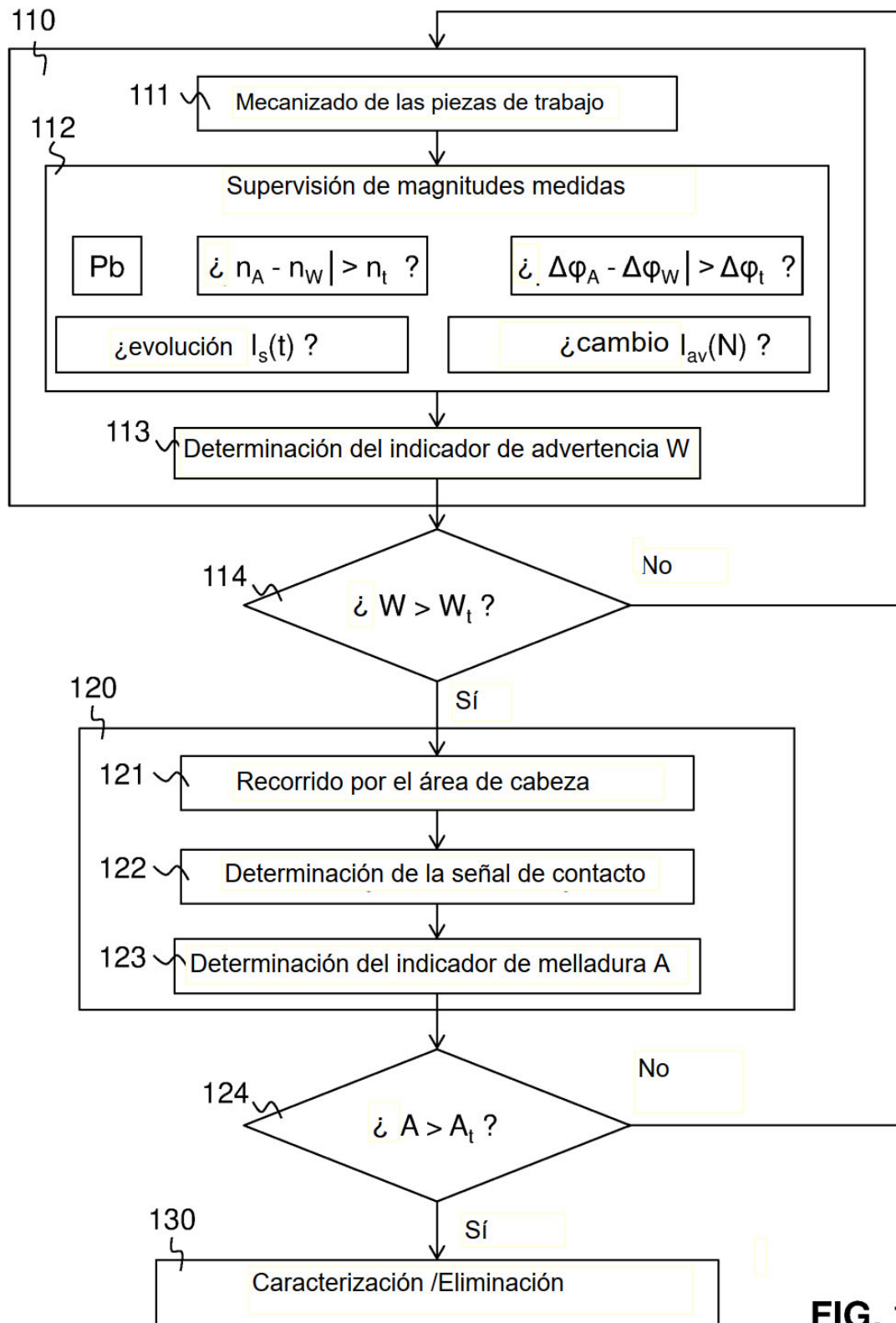


FIG. 14

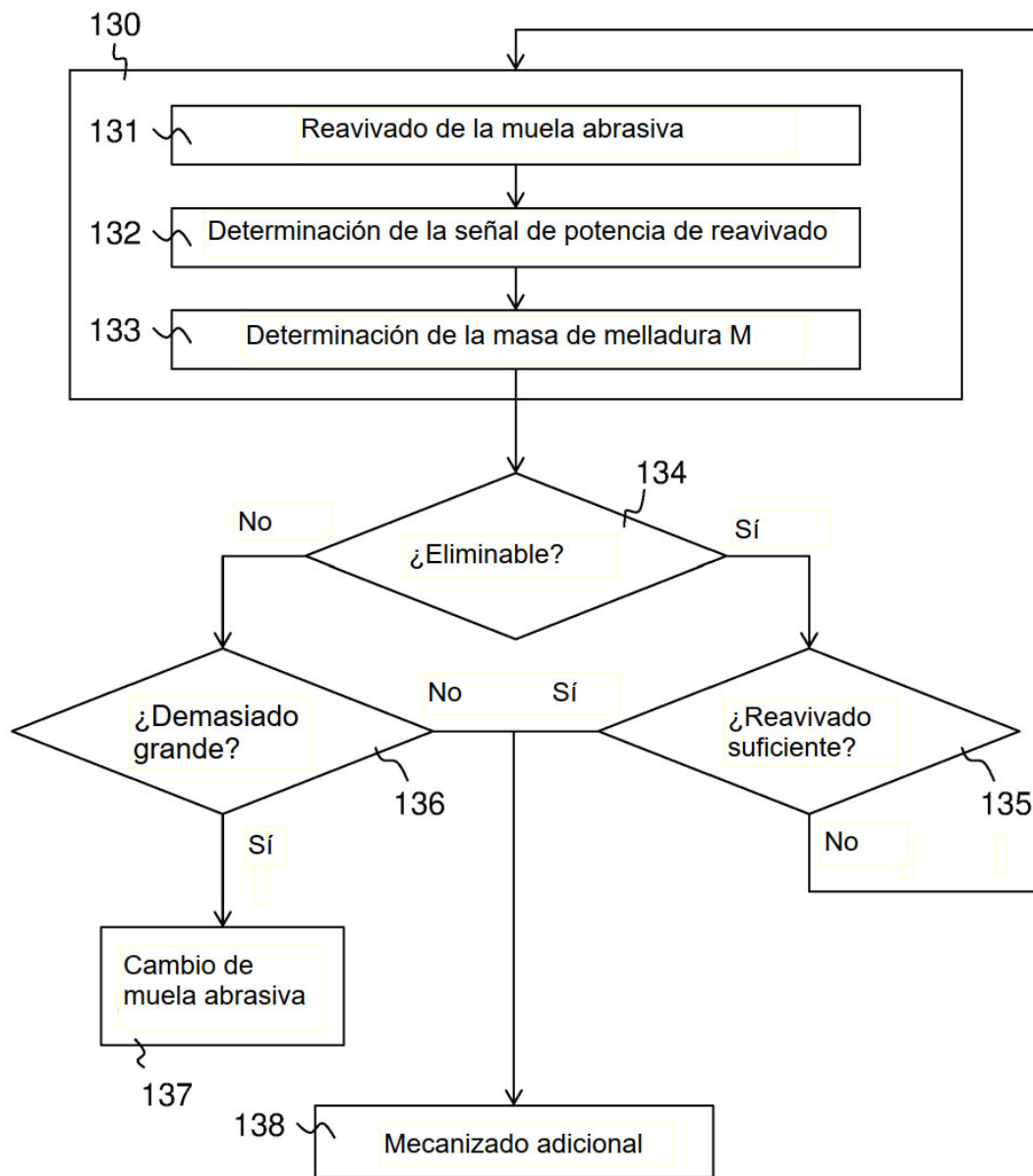


FIG. 15