

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 313 357**

51 Int. Cl.:

G05B 19/19 (2006.01)

B23Q 15/02 (2006.01)

G05B 19/416 (2006.01)

B24B 49/04 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05752772 .3**

96 Fecha de presentación : **01.06.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1766482**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **28.03.2007**

54

Título: **Procedimiento y aparato para controlar el mecanizado de piezas mecánicas.**

30

Prioridad: **04.06.2004 IT BO04A0356**

73

Titular/es: **Marposs Societa' Per Azioni**
Via Saliceto 13
40010 Bentivoglio, BO, IT

45

Fecha de publicación de la mención BOPI:
01.03.2009

72

Inventor/es: **Montanari, William**

45

Fecha de la publicación del folleto de la patente:
01.03.2009

74

Agente: **Isern Jara, Jorge**

ES 2 313 357 T3

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

DESCRIPCIÓN

Procedimiento y aparato para controlar el mecanizado de piezas mecánicas.

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un procedimiento para controlar el mecanizado de una pieza mecánica durante el giro en una máquina-herramienta por medio de un aparato de verificación, incluyendo las siguientes etapas: detección de los valores instantáneos indicativos de las dimensiones radiales de la pieza, procesamiento de los valores instantáneos detectados y control de por lo menos una fase de mecanizado sobre la base de los valores instantáneos detectados y procesados.

La invención también se refiere a un aparato para verificar una pieza en giro durante el mecanizado en una máquina-herramienta de control numérico, que incluye un cabezal de verificación adaptado para cooperar con la pieza en giro y emitir señales eléctricas indicativas de las dimensiones de la pieza y un dispositivo de procesamiento y visualización conectado al cabezal de verificación y al control numérico de la máquina-herramienta y adaptado para recibir las señales desde el cabezal de verificación, detectar y procesar los valores instantáneos y proporcionar al control numérico las señales indicativas de las dimensiones de la pieza.

20 Antecedentes técnicos

Se conoce llevar a cabo el mecanizado de piezas mecánicas, más específicamente en máquinas de rectificar de control numérico, con una verificación durante el proceso, esto es, utilizando cabezales de calibración o bien otros aparatos de verificación o de medición que detecten las dimensiones de la pieza durante el mecanizado y señalen cuándo se alcanza una dimensión previamente establecida a fin de controlar el paro del mecanizado o la transición a una fase de mecanizado subsiguiente.

La solicitud de patente europea N° EP-A- 0791873 expone un procedimiento específico de mecanizado en una máquina de rectificar, según el cual la pieza mecanizada es la muñequilla de un cigüeñal que gira con un movimiento orbital alrededor del eje principal del árbol mientras el carro de la muela de rectificar se traslada con respecto a dicho eje.

En el mecanizado de este tipo de piezas, alcanzar las normas extremadamente elevadas de precisión que actualmente se requieren es difícil debido al requisito simultáneo de tiempos de producción incluso más cortos. De hecho, los ciclos de mecanizado deben ser muy cortos, con una elevada relación entre la velocidad de avance del mecanizado de la muela de rectificar en movimiento hacia la muñequilla (que determina la velocidad de extracción de material) y la velocidad de giro del árbol. Como consecuencia, la sección transversal de la muñequilla mecanizada tiene, instante por instante y hasta la fase final, por ejemplo la fase de "pasada suave", una asimetría axial, esto es dimensiones radiales que varían considerablemente -en relación con la precisión requerida- desde un punto de la circunferencia a otro. Esto hace particularmente difícil la verificación durante el proceso, llevado a cabo por cabezales conocidos con uno o más palpadores que entran en contacto justo con ciertas áreas de la superficie de la muñequilla, necesariamente separadas del área que realmente se está mecanizando en ese instante.

El procedimiento de mecanizado según la solicitud de patente mencionada N° EP-A-0791873 contempla una secuencia de etapas que incluyen un paro en una posición intermedia durante el avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar hacia la muñequilla (mientras el carro continúa el desplazamiento a fin de seguir a la muñequilla que gira orbitalmente sin extraer material) cuando el cabezal de verificación durante el proceso señala que se ha excedido una dimensión del diámetro previamente establecida, en un cierto margen más elevado que la dimensión final deseada. El procedimiento también contempla que las dimensiones detectadas en una o más revoluciones de la muñequilla, cuando el carro de la muela de rectificar está en la posición intermedia, sean procesadas para calcular un valor promedio a partir del cual se determina la cantidad del avance subsiguiente del carro de la muela de rectificar para alcanzar la dimensión deseada. El cabezal de verificación se retrae y queda inactivo en la última parte del mecanizado, que contempla el avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar en una cantidad determinada y la fase final de "pasada suave", cuando el carro de la muela de rectificar se para otra vez.

El procedimiento según la solicitud de patente europea mencionada intenta resolver los problemas introducidos por los requisitos elevados que contrastan en términos de velocidad de la producción y de precisión de los resultados.

Sin embargo, el ciclo de mecanizado propuesto está gravado por los controles y las operaciones adicionales, por la interrupción y la continuación después del avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar antes de alcanzar la dimensión deseada, que contrastan con los requisitos de reducción del tiempo de mecanizado. Además, tales operaciones adicionales contribuyen a deteriorar los componentes eléctricos y mecánicos implicados y representan posibles causas adicionales de fallos y disfunciones en la máquina de rectificar.

Los aparatos para la verificación durante el proceso de muñequillas del cigüeñal en movimiento orbital se describen en la solicitud de patente internacional WO-A-9712724, presentada por el mismo solicitante de la presente solicitud de patente. Tales aparatos incluyen cabezales de verificación con un elemento de referencia en forma de V que descansa sobre dos puntos en la superficie de la muñequilla que se va a verificar, y un palpador móvil que está en contacto con

ES 2 313 357 T3

una superficie de ese tipo entre los dos puntos de descanso y transmite los desplazamientos a medios de transductor a lo largo de una dirección que sustancialmente corresponde con la línea bisectriz de la "V".

5 Los aparatos fabricados por el propietario de la presente solicitud de patente según las enseñanzas de la solicitud de patente WO-A-9712724 garantizan resultados excelentes desde el punto de vista metrológico, la máxima simplicidad en la aplicación y bajas fuerzas de inercia y las normas de comportamiento que se alcanzan en las aplicaciones relacionadas en las máquinas de rectificar confirman la calidad y la fiabilidad remarcables de las soluciones adoptadas.

10 Sin embargo, los requisitos de una velocidad de mecanizado más elevada mientras se mantenga sin cambiar o se aumente el grado de precisión, causan los inconvenientes anteriormente mencionados incluso con los aparatos de este tipo.

Descripción de la invención

15 Un objeto de la presente invención es proporcionar un procedimiento y un aparato asociado para controlar el mecanizado de piezas mecánicas que permita una precisión y una fiabilidad del mecanizado considerables en tiempos extremadamente cortos.

20 Éste y otros objetos se consiguen mediante el procedimiento según la reivindicación 1 y el aparato según la reivindicación 12.

Un procedimiento y un aparato según la invención se pueden utilizar ventajosamente para controlar las operaciones de mecanizado de muñequillas en movimiento orbital.

25 Una de las ventajas que proporcionan el método y el aparato según la invención consiste en la posibilidad de compensar eficazmente posibles errores debidos, por ejemplo, a la utilización de aparatos con un elemento de referencia en forma de "V".

Breve descripción de los dibujos

30 La invención se describirá de aquí en adelante en este documento con referencia a las hojas adjuntas de dibujos que muestran una forma de realización preferida de la invención y se proporcionan a título de ejemplo no limitativo, en los que:

35 La figura 1 es una vista lateral de un aparato de medición montado en el carro de la muela de rectificar de una máquina de rectificar cigüeñales, mostrado en la condición de trabajo durante la verificación de una muñequilla de cigüeñal;

40 la figura 2 muestra, de una forma simplificada y a mayor escala, un detalle de la figura 1;

la figura 3 es un diagrama de bloques de una forma de realización preferida de un procedimiento de control según la presente invención; y

45 la figura 4 es un gráfico que representa la tendencia de algunas cantidades detectadas y calculadas según el procedimiento de la figura 3.

Mejor modo de llevar a cabo la invención

50 La figura 1 ilustra un aparato según la invención para controlar el mecanizado de una pieza en una máquina-herramienta, más específicamente un dispositivo para verificar durante el proceso una muñequilla de cigüeñal 18 de un cigüeñal 34 en una máquina de rectificar con un control numérico por ordenador ("CNC") 33. La muñequilla 18 tiene una forma sustancialmente cilíndrica y define un eje de simetría 2. Un muñón principal 38 del cigüeñal 34 puede ser verificado mediante el mismo aparato. Muchas características constructivas del aparato corresponden a aquellas representadas y descritas en la solicitud de patente anteriormente mencionada N° WO-A-9712724.

55 En la forma de realización representada en la figura 1, una muela de rectificar 4 está acoplada a un carro de la muela de rectificar 1 que define un eje de giro 3 para la muela de rectificar 4. Una mesa porta-piezas 23 sostiene -y define un eje de giro 8- el cigüeñal 34. El carro de la muela de rectificar 1 transporta un dispositivo de soporte con un elemento de soporte 5 y elementos de acoplamiento giratorio primero 9 y segundo 12. El elemento de soporte 5 sostiene, por medio de un pasador de giro 6 que define un primer eje de giro 7 paralelo al eje de giro 3 de la muela de rectificar 4 y al eje de giro 8 del cigüeñal 34, el primer elemento de acoplamiento giratorio 9. A su vez, el elemento de acoplamiento 9 sostiene, por medio de un pasador de giro 10 que define un segundo eje de giro 11 paralelo al eje de giro 3 de la muela de rectificar 4 y al eje de giro 8 del cigüeñal 34, el segundo elemento de acoplamiento giratorio 12. En el extremo libre del elemento de acoplamiento 12 está acoplada una carcasa de guía tubular 15 en la cual se puede trasladar axialmente una varilla de transmisión 16 que transporta un palpador 17 para entrar en contacto con la superficie de la muñequilla 18 que se va a verificar. La carcasa tubular 15, la varilla 16 y el palpador 17 son parte de un cabezal de medición o de verificación 39, que también incluye un bloque de soporte 19, fijado al extremo inferior de la

ES 2 313 357 T3

carcasa de guía tubular 15. El bloque 19 sostiene un dispositivo de referencia 20, en forma de V, adaptado para acoplar la superficie de la muñequilla 18 que se va a verificar, en virtud de los giros permitidos por los pasadores de rotación 6 y 10. La varilla de transmisión 16 es móvil sustancialmente a lo largo de la línea bisectriz de la V del dispositivo de referencia 20, o según una dirección que es ligeramente angular con respecto a la línea bisectriz.

El bloque de soporte 19 adicionalmente sostiene un dispositivo de guía 21 que, como se describe en la solicitud de patente internacional mencionada N° WO-A-9712724, sirve para guiar el dispositivo de referencia 20 para acoplar la muñequilla que se va a verificar y mantenerlo en contacto con la muñequilla mientras el dispositivo de referencia 20 se desplaza alejándose de la muñequilla, para limitar el giro del primer elemento de acoplamiento 9 y del segundo elemento de acoplamiento 12 alrededor de los ejes de giro 7, 11 definidos por pasadores 6 y 10.

Los desplazamientos axiales de la varilla de transmisión 16 con respecto a una posición de referencia son detectados por medio de un transductor de medición, fijado a la carcasa 15, por ejemplo un transductor 41 del tipo LVDT (transductor diferencial variable lineal) o HBT (transductor bipolar de heterounión) (conocidos por sí mismos y no descritos en detalle en este documento), con devanados fijos y un núcleo ferromagnético que es móvil con la varilla de transmisión 16.

El transductor 41 del cabezal 39 está conectado a un dispositivo de procesamiento y visualización 22, a su vez conectado al control numérico 33 de la máquina de rectificar.

El cigüeñal 34 que se va a verificar se coloca sobre la mesa porta-piezas 23, entre un husillo y una contra punta, no representados, que definen el eje de giro 8, coincidente con el eje geométrico principal del cigüeñal 34. La muñequilla de cigüeñal 18 y el muñón principal 38 giran alrededor del eje 8, la primera llevando a cabo una trayectoria orbital.

Un dispositivo de accionamiento comprende un cilindro de doble acción 28, por ejemplo del tipo hidráulico. El cilindro 28 está sostenido por el carro de la muela de rectificar 1 y comprende una biela 29, acoplada al pistón del cilindro, que transporta en el extremo libre un tapón 30. Un brazo 14 está acoplado en un extremo al elemento 9 y transporta un pilar con una rueda loca 26 en su extremo opuesto. Cuando el cilindro 28 es activado para el desplazamiento del pistón y la biela 29 hacia la derecha (con referencia a la figura 1), el tapón 30 entra en contacto con el pilar 26 y causa el desplazamiento del aparato de verificación hacia una posición de reposo según la cual el dispositivo de referencia 20 está separado de la superficie de la muñequilla. Un saliente 13 está rígidamente fijado al elemento de soporte 5 y un resorte de retorno helicoidal 27 está acoplado al saliente 13 y al brazo 14. Cuando la biela 29 se retrae, a fin de permitir que el aparato se desplace a la condición de verificación, y el tapón 30 se desacopla del pilar, o de la rueda loca 26, el bloque de soporte 19 se aproxima a la muñequilla 18 (o al muñón principal 38) a través del giro de los elementos de acoplamiento 9, 12 y el aparato alcanza y mantiene la condición de verificación, sustancialmente del modo descrito en la solicitud de patente internacional anteriormente mencionada en este documento N° WO-A-9712724 a la cual se hace referencia para una descripción más detallada. La cooperación entre la muñequilla 18 o el muñón principal 38 y el dispositivo de referencia 20 se mantiene gracias a la fuerza de la gravedad. La acción del resorte helicoidal 27 es particularmente importante en la verificación de la muñequilla 18 en movimiento orbital representado en la figura 1. De hecho, la tensión del resorte 27 aumenta con el descenso del bloque de soporte 19 y contrarresta parcial y dinámicamente las fuerzas debidas a la inercia de las piezas componentes del aparato de verificación que se desplazan siguiendo los desplazamientos de la muñequilla 18. De este modo es posible, por ejemplo, evitar sobre tensiones entre el dispositivo de referencia 20 y la muñequilla 18, en la posición inferior (identificada mediante el número de referencia 18''), que causarían la deformación de la V del dispositivo de referencia 20. Por otra parte, puesto que durante el movimiento de elevación del aparato (debido al giro de la muñequilla hacia la posición superior 18') la acción de empuje del resorte 27 disminuye, las fuerzas de inercia que -en la posición superior 18'- tenderían a liberar el acoplamiento entre el dispositivo de referencia en forma de V 20 y la muñequilla 18 se pueden equilibrar apropiadamente. En este último caso se debe observar que la acción de contrapeso se consigue mediante la disminución de la acción de empuje del resorte 27. En otras palabras, el resorte de retorno helicoidal 27 no causa presión alguna entre el dispositivo de referencia 20 y la muñequilla 18 que cooperan mutuamente, como se ha descrito antes, simplemente debido a la fuerza de gravedad.

El transductor 41 del cabezal 39 envía al dispositivo de procesamiento y visualización 22 señales, los valores de las cuales son indicativos de la posición de la varilla de transmisión 16 y por lo tanto del palpador 17. En un dispositivo de este tipo 22, que incluye una unidad de memoria 24, las señales que llegan desde el cabezal 39 son procesadas como se describen más adelante en este documento con referencia a las figuras 2, 3 y 4.

La figura 2 muestra, de forma simplificada, el palpador 17, la varilla de transmisión 16 y el dispositivo de referencia en forma de V 20 del cabezal 39 en la fase de la verificación durante el proceso de la muñequilla 18. La última fase está representada también en la figura 1, en la cual la muela de rectificar 4 está representada mientras rectificaba la superficie exterior de una muñequilla 18 del tipo que gira con un movimiento orbital alrededor del eje 8 del árbol 34 y, por consiguiente, alrededor de su eje 2, en el sentido indicado mediante la flecha A. En esta fase el carro de la muela de rectificar 1 lleva a cabo, a la recepción de los controles a partir del control numérico 33, desplazamientos de traslación con respecto al eje 8 a lo largo de una dirección X a fin de seguir los desplazamientos del movimiento orbital de la muñequilla 18 y un avance de mecanizado adicional, también a lo largo de la dirección X con respecto al eje 2 de la muñequilla 18, para extraer material de la superficie de la muñequilla 18. Muchos tipos de máquinas-herramienta pueden contemplar desplazamientos de la mesa porta-piezas 23 a fin de implantar los desplazamientos de seguimiento o de mecanizado mencionados.

ES 2 313 357 T3

Dos líneas circulares 18I y 18F representan esquemáticamente el perfil de la superficie exterior de la muñequilla 18 en el instante I y, respectivamente, el perfil final de la superficie que sería posible obtener parando en el mismo instante I el avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar 1. Se debe observar que en la figura 2 la forma helicoidal del perfil 18I, que depende de la relación entre la velocidad de avance del mecanizado del carro 1 y de la velocidad de giro de la muñequilla 18, se ilustra, con fines ilustrativos, de un modo intencionadamente exagerado con respecto al tamaño real.

En la sección transversal de la figura 2, los puntos sobre la superficie de la muñequilla 18 que instante por instante están en contacto con la muela de rectificar 4 y con el palpador 17 están indicados mediante las referencias W y G e identifican, respectivamente, un área de mecanizado y un área de verificación. La dirección del desplazamiento de la varilla 16, que incluye el punto G, es sustancialmente incidente con el eje 2 del pasador 18 y forma un ángulo α con respecto a la línea recta, que también es incidente con el eje 2 de la muñequilla 18, en donde descansa el punto W de contacto con la muela de rectificar 4.

Se debe observar que, desde un punto de vista conceptual, mientras el área de verificación puede ser identificada con el punto G, el área de mecanizado tiene una cierta extensión en una dirección perpendicular al plano de las figuras 1 y 2. Sin embargo, en la presente descripción, para favorecer la simplicidad y la claridad, se hace referencia sólo al punto W de contacto entre la muñequilla 18 y la muela de rectificar 4 en la sección transversal ilustrada.

Las señales, enviadas por el cabezal 39 durante el giro de la muñequilla 18 y detectadas a una frecuencia previamente determinada en el dispositivo 22, definen una secuencia de valores instantáneos $V(i)$ que son proporcionales a las dimensiones radiales de la muñequilla 18. Como se representa en la figura 2, en cualquier instante I la dimensión radial de la muñequilla 18 en el punto W en contacto con la muela de rectificar 4 difiere de la dimensión detectada por el cabezal 39 en el punto G. Por lo tanto, cada valor instantáneo detectado $V(i)$ indica, después un cierto retraso, la dimensión realmente alcanzada en el punto W de mecanizado.

Un primer procesamiento, que tiene lugar en el dispositivo de 22, permite calcular dinámicamente un valor promedio $M(j)$ proporcionado por:

$$M(j) = \frac{\sum_{i=s-(N-1)}^s V(i)}{N} \quad (1)$$

En donde s es un número progresivo que identifica el valor instantáneo más recientemente detectado $V(i)$ y N es el número de valores instantáneos $V(i)$ detectados en un giro completo del árbol 34 alrededor del eje 8 y almacenado en la unidad 24.

El valor promedio $M(j)$, o promedio de rodadura instantánea, permite entre otras cosas compensar las alteraciones de los valores detectados $V(i)$ introducidos por el dispositivo en forma de V 20 que, por el contacto con la superficie de la muñequilla 18, es sensible a los errores de forma de la muñequilla 18 y causan desplazamientos indeseados del palpador 17. El promedio de rodadura $M(j)$ es actualizado continuamente hasta la detección de cada valor instantáneo actualizado $V(i)$ de la secuencia. En el instante I el valor promedio $M(j)$ de los valores instantáneos $V(i)$ detectados en el giro completo anterior, tiene también “un retraso” con respecto a la dimensión mecanizada en el punto W. La figura 2 muestra la posición radial del valor promedio $M(j)$ en el instante I y una línea discontinua 18I' indica parte del perfil sobre la base del cual se calcula el valor promedio $M(j)$.

Un procedimiento según la presente invención para controlar el mecanizado de una muñequilla con un aparato representado en las figuras 1 y 2 se describe más adelante en este documento con referencia al diagrama de bloques de la figura 3 y del gráfico de la figura 4.

Los bloques del diagrama de la figura 3 tienen las siguientes funciones:

bloque 50 - inicio del proceso de control;

bloque 51 - colocación del cabezal 39 en la posición de verificación sobre la muñequilla 18 en movimiento orbital, mientras el carro de la muela de rectificar 1 lleva a cabo desplazamientos a lo largo de la dirección X, que incluye el avance de mecanizado hacia la muñequilla 18;

bloque 52 - adquisición de datos e iniciación de las variables de control;

bloque 53 - verificación sobre el inicio de la fase de verificación durante el proceso, en el control del control numérico 33;

bloque 54 - adquisición y almacenaje de un valor instantáneo $V(i)$ sobre la base de señales transmitidas desde el cabezal 39;

ES 2 313 357 T3

bloque 55 - verificación sobre el cumplimiento de un primer rastreo de 360° por el palpador 17 sobre la superficie de la muñequilla 18;

bloque 56 - incremento en el contador de los valores instantáneos adquiridos $V(i)$;

bloque 57 - cálculo dinámico y almacenaje del valor promedio $M(j)$ de la secuencia de valores instantáneos $V(i)$ adquiridos en el rastreo de 360° más reciente;

bloque 58 - comparación entre el número de los valores promedio almacenados $M(j)$ y un número previamente establecido;

bloque 59 - adquisición, más específicamente cálculo dinámico y almacenaje, de un índice de variación P indicativo de la tendencia de las variaciones de los C valores promedio $M(j)$ más recientemente adquiridos y almacenados;

bloque 60 - cálculo dinámico de una dimensión radial instantánea R_i de la muñequilla 18;

bloque 61 - transmisión de la dimensión radial instantánea calculada R_i al control numérico 33 de la máquina de rectificar;

bloque 62 - comparación entre la dimensión radial instantánea calculada R_i y la dimensión nominal deseada R_F ;

bloque 63 - control para detener el avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar 1;

bloque 64 - anulación del valor promedio más antiguo $M(j)$ almacenado en la unidad 24;

bloque 65 - verificación sobre el hecho de que la fase de verificación durante el proceso termina tras el control del control numérico 33; y

bloque 66 - finalización del proceso de control.

El gráfico de la figura 4 muestra las curvas V , M y R que representan la tendencia en el tiempo de la secuencia de los valores instantáneos detectados $V(i)$, de los valores promedio $M(j)$, y la dimensión radial instantánea calculada R_i , respectivamente.

El procedimiento según el diagrama de la figura 3 contempla una fase de inicio en la cual, simultáneamente con la colocación física del cabezal 39 sobre la muñequilla 18 que es mecanizada en la máquina de rectificar (bloque 51), ahí ocurre la adquisición y el establecimiento de algunos parámetros (bloque 52), como la velocidad de giro ω de la pieza, esto es un parámetro de mecanizado de la máquina, el ángulo α que identifica el punto G en el cual el palpador está en contacto con la superficie de la muñequilla 18, un periodo de muestreo T de los valores instantáneos $V(i)$ y un número C , por ejemplo establecido por el operario, que define el número de valores promedio $M(j)$ que deben ser mantenidos simultáneamente en la unidad de memoria 24 a fin de llevar a cabo procesamientos adecuados, como se describirá más adelante en este documento con más detalle. Se debe observar que el número anteriormente mencionado N de valores instantáneos $V(i)$ detectados por cada revolución completa de la muñequilla se puede obtener a partir de los parámetros con respecto a la velocidad de giro ω (por ejemplo en revoluciones por minuto) de la pieza y el período de muestreo T (por ejemplo en segundos) de este modo:

$$N = \frac{60}{\omega * T} \quad (2)$$

Cuando el control numérico 33 de la máquina de rectificar envía la señal para el inicio del ciclo de verificación durante el proceso (bloque 53), empieza la fase de adquisición y almacenaje de las muestras (bloque 54, 56), esto es de los valores instantáneos $V(i)$. Cuando se detecta el cumplimiento de un rastreo completo de 360° (bloque 55), por ejemplo mediante la verificación de la adquisición del valor instantáneo N -enésimo $V(i)$, un primer valor promedio $M(j)$ se calcula dinámicamente (bloque 57) por medio de la ecuación (1) y se almacena en la unidad 24. Las fases para la adquisición de los valores instantáneos $V(i)$ (bloque 54) y el cálculo de los valores promedios $M(j)$ subsiguientes (bloque 57) continúa (bloque 58) hasta que el número de valores promedio $M(j)$ simultáneamente presente en la unidad de memoria 24 corresponde al número establecido C . De ese modo, tales valores promedio $M(j)$ son utilizados para calcular (bloque 59) el valor del índice de variación P indicativo de la inclinación de la curva que representa, en la figura 4, la tendencia en el tiempo de los valores promedio $M(j)$, por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sum_{j=s-(C-1)}^{s-1} (M(j+1) - M(j))}{C - 1} \quad (3)$$

El índice P es un número negativo que representa la variación promedio de los valores promedio $M(j)$ entre una muestra y la otra sobre la base de un número C previamente determinado de valores promedio.

ES 2 313 357 T3

Sobre la base del valor promedio actual $M(j)$, el índice de variación P y un coeficiente de corrección K que considera los retrasos de la evaluación introducidos por la geometría del sistema, más específicamente por la disposición mutua de los puntos G y W , se calcula dinámicamente (bloque 60) la dimensión radial instantánea R_I como:

$$R_I = M(j) + P * K \quad (4)$$

en donde:

$$K = N * \frac{\alpha + 180}{360} \quad (5)$$

En la práctica K es un coeficiente de corrección que considera el número previamente mencionado N de valores instantáneos $V(i)$ detectados para cada revolución completa de la muñequilla y el retraso entre el valor promedio $M(j)$ y las dimensiones alcanzadas en el instante idéntico I en el punto de mecanizado W .

Con referencia al gráfico de la figura 4, en el instante I :

- se detecta el valor $V(i)$,
- se calcula y se almacena el valor promedio $M(j)$ sobre la base de los N valores instantáneos $V(i)$ con $i = (s - (N-1)), \dots, s$ detectado en el último giro de 360° ,
- se evalúa el índice P indicativo de la inclinación de la curva M sobre la base del último C de los valores promedio $M(j)$ con $j = (s - (C-1)), \dots, s$
- se calcula la dimensión radial instantánea R_I .

La dimensión R_I , esto es una evaluación de la dimensión radial de la muñequilla 18 en el punto W en donde se mecaniza la superficie de la muñequilla, es transmitida (bloque 61) desde el dispositivo de procesamiento y visualización 22 al control numérico 33 de la máquina de rectificar. El control numérico 33 ventajosamente puede verificar cuándo (bloque 62) la dimensión radial instantánea R_I alcanza el valor de la dimensión nominal deseada R_F , y por consiguiente controla el paro del avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar 1 (bloque 63). Se debe observar que la gestión de la dimensión radial instantánea R_I provista por el dispositivo 22 está definida en cualquier caso por el control numérico 33 de la máquina que controla, como se ha indicado anteriormente, las operaciones descritas con referencia a los bloques 62 y 63 o bien otros posibles desplazamientos de mecanizado sobre la base de programas adecuados que dependen, entre otras cosas, de las características de la pieza que se vaya a mecanizar. El final (bloque 66) de la verificación durante el proceso se determina de forma similar, después del paro del avance de mecanizado de la muela de rectificar 4 o, por ejemplo, en un momento subsiguiente, tras el control del control numérico 33 (bloque 65). El bloque 64 de la figura 3 muestra, de una forma simplificada, la actualización de los valores promedio almacenados para mantenerlos en la unidad de memoria 24 hasta el último C de los valores promedio calculados $M(j)$, por ejemplo por la anulación del valor más antiguo $M(j)$ con $j = (s - (C-1))$ entre aquellos utilizados para el cálculo del índice P a fin de reemplazarlo después de ello con un valor nuevo en el procesamiento subsiguiente (bloque 57).

En el gráfico de la figura 4, el instante I_F indica el momento en el cual la dimensión calculada R_I alcanza el valor R_F y, de acuerdo con el ejemplo descrito antes en este documento, el control numérico 33 controla el paro del avance de mecanizado del carro de la muela de rectificar 1 en la dirección X , con respecto a la muñequilla 18 en movimiento orbital. El mecanizado continúa con una fase en la cual el carro de la muela de rectificar 1 continúa llevando a cabo desplazamientos transversales, con respecto al eje de giro 8 del árbol 34, a fin de seguir la muñequilla 18 por ejemplo en un único giro orbital de la última, sustancialmente sin desplazamientos de avance de mecanizado hacia el eje 2 de la muñequilla 18. En esta fase final la superficie exterior de la muñequilla 18 se remata para que asuma un perfil que corresponda al representado en la figura 2 e identificado mediante la referencia 18F.

Por lo tanto, el procedimiento según la invención, por ejemplo según la forma de realización que se acaba de describir, permite verificar, sobre la base del valor instantáneo $V(i)$ detectado por el cabezal 39, el cuál es la dimensión radial de la muñequilla 18 realmente alcanzada en ese instante en el punto W en contacto con la muela de rectificar 4. Por consiguiente, es posible controlar de un modo continuo en mecanizado de la muñequilla 18, por ejemplo hasta que se alcance la dimensión nominal deseada R_F , obteniendo de ese modo piezas mecanizadas con una precisión y una fiabilidad particulares en tiempos extremadamente cortos, sin que sea necesario interrumpir el avance de mecanizado de la muela de rectificar 4.

El procedimiento descrito se puede aplicar a mecanizados que contemplen avances de mecanizado del carro de la muela de rectificar 1 a una velocidad elevada (por ejemplo del orden de $15 \mu\text{m/s}$) con giros del árbol relativamente lentos (por ejemplo desde 20 hasta 60 rpm) y períodos de muestreo desde 0,5 hasta 4 ms. El número N de muestras por revolución de la muñequilla puede ser del orden de miles, mientras el número C de valores promedio $M(j)$ para el cálculo del índice P puede ser, por ejemplo, de aproximadamente 10.

ES 2 313 357 T3

Un valor típico del ángulo α es, por ejemplo, 120. Se debe observar que en aplicaciones como la que se ha ilustrado en las figuras 1 y 2, la amplitud del ángulo α está sujeta a variaciones ligeras durante el giro de la pieza, que dependen de la geometría y de las características cinemáticas del sistema. Sin embargo, en la verificación de las dimensiones radiales de la muñequilla 18, estas variaciones, que permanecen dentro de una gama de +/- 5°, son absolutamente despreciables. De hecho, a partir de la ecuación (5) se deduce que una imprecisión de 5° genera una variación de 1,3% (5/360) del valor promedio M(j) que es constante y sustancialmente no es percibida en el cálculo del valor R₁.

El coeficiente de corrección K calculado mediante la ecuación (5) permite aplicar el procedimiento según la invención con resultados excelentes. También es posible permitir un ligero desplazamiento con respecto al punto G del valor N de los valores instantáneos detectados V(i) sobre la base de los cuales se calculan los valores promedio M(j), por medio de la siguiente ecuación para el cálculo del coeficiente de corrección:

$$K' = N * \frac{\alpha + 180}{360} + \frac{1}{2} \quad (5')$$

Sin embargo, en casi la totalidad de los casos, cuando N es superior a aproximadamente unas pocas decenas (como se ha establecido antes, un valor típico es aproximadamente 1000), la diferencia entre K y K' prácticamente no se detecta.

Otras posibles variantes con respecto al procedimiento descrito hasta ahora en este documento pueden contemplar, entre otras cosas, un cálculo diferente del índice de variación, por ejemplo evaluando un ángulo o una relación entre las cantidades detectadas y las calculadas, en lugar del número negativo P mencionado en el ejemplo, con la consiguiente modificación de la ecuación (4) para el cálculo de la dimensión radial instantánea R₁.

En una forma de realización diferente, la adquisición del índice de variación P tienen lugar no sólo por medio de los cálculos, sino a través del establecimiento directo de un valor, por ejemplo por un operario, sobre la base de la velocidad de avance del mecanizado. De hecho, cuando la velocidad de avance del mecanizado es constante, el índice P es también constante y no existe la necesidad de calcular dinámicamente la variación del índice P en cada giro de la pieza. En otras palabras, si la velocidad de mecanizado es constante, la inclinación de la curva M es constante y el dispositivo de procesamiento y visualización 22 puede estar provisto con el índice de variación P sin un procesamiento adicional.

La última forma de realización es particularmente ventajosa cuando la pieza soporta dos o más fases de mecanizado, con diferentes velocidades de avance de mecanizado. Estableciendo el valor del índice de variación P para cada fase de mecanizado, es posible mejorar la precisión en el cálculo dinámico de la dimensión radial instantánea R₁ cuando pasa de una fase de mecanizado a la otra y por lo tanto de una velocidad de avance de mecanizado a la otra.

En otra forma de realización, también es posible calcular dinámicamente el índice de variación P sobre la base de un número previamente establecido de valores iniciales M(j) y utilizar entonces el índice de variación calculado P para el procesamiento subsiguiente, de un modo completamente similar al que ha sido descrito antes en este documento. Para hacer mínimos los errores en el cálculo del índice de variación P, se puede evaluar un valor promedio de un número previamente establecido de valores calculados del índice de variación P.

En aplicaciones particulares en las cuales la naturaleza de los errores de la forma de la pieza mecánica es conocida sustancialmente *a priori*, los valores promedio M(j) se pueden evaluar sobre la base de un número de valores instantáneos V(i) menor que N, o bien sobre la base de una ventana angular móvil provista de una amplitud fija que puede estar programada (por ejemplo 120°, o 180° de ancho).

Evidentemente el procedimiento según la invención es también factible en aplicaciones en las cuales los valores instantáneos V(i) detectados por las señales del cabezal 39 sufren otros procesamientos para compensar las alteraciones debidas, por ejemplo, a las variaciones térmicas o a la linealidad limitada del cabezal 39.

Un procedimiento y un aparato según la invención se aplican ventajosamente a verificaciones de muñequillas en movimiento orbital por medio de cabezales con dispositivos de referencia en forma de V, como ha sido descrito hasta ahora en este documento. Un método y un aparato similar son aplicables para controlar el mecanizado del muñón principal 38 del árbol 34 descrito con referencia a la figura 1.

Además, procedimientos y aparatos de control similares, por ejemplo utilizando cabezales con dos palpadores que proporcionan señales indicativas de las dimensiones de los diámetros de piezas que giran alrededor de sus ejes, o con cabezales de verificación sin contacto (de tipo óptico o de otro tipo conocido) quedan dentro del ámbito de la presente invención y permiten, en muchas aplicaciones, controlar con normas idénticas de precisión, fiabilidad y velocidad el mecanizado de máquinas-herramienta como máquinas de rectificar.

Como se ha establecido anteriormente, el procedimiento y el aparato según la invención permiten tener disponible, instante por instante, un valor (como R₁) indicativo de la dimensión real de la pieza mecanizada en el área de contacto con la herramienta. La utilización de un valor de este tipo (R₁) para controlar una o más fases de mecanizado está generalmente definido y gestionado por el dispositivo de control de la máquina (por ejemplo el control numérico 33).

ES 2 313 357 T3

REIVINDICACIONES

1. Procedimiento para controlar el mecanizado de una pieza (18, 38) durante el giro en una máquina-herramienta por medio de un aparato de verificación, que incluye las siguientes etapas:

- detección (54) de los valores instantáneos (V(i)) indicativos de las dimensiones radiales de la pieza (18, 38),

- procesamiento (57, 59, 60) de los valores instantáneos detectados (V(i)), y

- control (62, 63) de por lo menos una fase de mecanizado sobre la base de los valores instantáneos detectados y procesados, en el que la etapa de procesamiento de los valores instantáneos (V(i)) incluye:

- un cálculo dinámico (57) de los valores promedio (M(j)) de dichos valores instantáneos (V(i)) durante el mecanizado,

la etapa de procesamiento de los valores instantáneos adicionalmente **caracterizada** porque incluye:

- una adquisición (59) de un índice de variación (P), indicativo de la tendencia de los valores promedio (M(j)) durante el mecanizado, y

- un cálculo dinámico (60) de una dimensión instantánea (R_i) sobre la base del valor promedio calculado (M(j)), el índice de variación (P) y por lo menos un coeficiente de correlación (K),

dicha por lo menos una fase de mecanizado estando controlada (62) sobre la base de la dimensión instantánea calculada (R_i).

2. El procedimiento según la reivindicación 1 en el que cada uno de dichos valores promedio (M(j)) se calcula dinámicamente sobre la base de una secuencia de los valores instantáneos (V(i)) detectados en un giro completo de la pieza (18, 38) durante el mecanizado.

3. El procedimiento según la reivindicación 1 o la reivindicación 2 para controlar el mecanizado en una máquina de rectificar con una muela de rectificar (4) en contacto con la pieza (18, 38) en giro en un área de mecanizado (W), en donde dicho aparato de verificación coopera con la pieza (18, 38) en por lo menos un área de verificación (G), en el que dicho coeficiente de correlación (K) se evalúa sobre la base de la disposición de dicha área de mecanizado (W) y de dicha por lo menos una área de verificación (G).

4. El procedimiento según la reivindicación 3 en el que dicha dimensión instantánea (R_i) es una evaluación de la dimensión de la pieza (18, 38) en dicha área de mecanizado (W).

5. El procedimiento según la reivindicación 3 o la reivindicación 4 en el que dicho aparato de verificación incluye un cabezal de verificación (39) como por lo menos un palpador (17) en contacto con la pieza (18, 38) en dicha por lo menos una área de verificación (G), en el que dicho coeficiente de corrección (K) se evalúa sobre la base de las características geométricas (α) de la disposición de dicha muela de rectificar (4) y de por lo menos dicho un palpador (17) con respecto a la pieza (18, 38).

6. El procedimiento según la reivindicación 5 en el que dicho cabezal de verificación (39) incluye un dispositivo de referencia en forma de V (20), dicho por lo menos un palpador (17) siendo móvil a lo largo de una dirección sustancialmente coincidente con la línea bisectriz de dicha V, o ligeramente angular con respecto a dicha línea bisectriz, en el que la dimensión instantánea calculada (R_i) es una dimensión radial.

7. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores en el que dicho índice de variación (P) se calcula.

8. El procedimiento según la reivindicación 7 en el que dicho índice de variación (P) se calcula sobre la base de los valores promedio recientes dinámicamente calculados (M(j)).

9. El procedimiento según la reivindicación 8 en el que dichos valores promedio (M(j)) sobre la base de los cuales se calcula dicho índice de variación (P) son un número determinado (C).

10. El procedimiento según la reivindicación 9 en el que dicho índice de variación (P) se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$P = \frac{\sum_{j=s-(C-1)}^{s-1} (M(j+1) - M(j))}{C - 1}$$

ES 2 313 357 T3

11. El procedimiento según cualquiera de las reivindicaciones anteriores para controlar el mecanizado hasta alcanzar una dimensión nominal (R_F) de la pieza (18, 38) en el que el mecanizado de la pieza (18, 38) está controlado sobre la base de una comparación (61) entre la dimensión instantánea calculada (R_I) y dicha dimensión nominal (R_F).

5 12. Aparato para verificar una pieza (18, 38) que gira durante el mecanizado en una máquina-herramienta de control numérico (33) que incluye:

- un cabezal de verificación (39) adaptado para cooperar con la pieza (18, 38) en giro y emitir señales eléctricas indicativas de las dimensiones de la pieza (18, 38), y

10 - un dispositivo de procesamiento y visualización (22) conectado al cabezal de verificación (39) y al control numérico (33) de la máquina-herramienta y adaptado para recibir dichas señales desde el cabezal de verificación (39), detectar y procesar valores instantáneos detectados ($V(i)$), y proporcionar al control numérico (33) señales indicativas de las dimensiones de la pieza (18, 38),

15 por lo que el dispositivo de procesamiento y visualización (22) está adaptado para llevar a cabo el cálculo dinámico de los valores promedio ($M(j)$) de dichos valores instantáneos ($V(i)$) y **caracterizado** porque el dispositivo de procesamiento y visualización está adicionalmente adaptado para llevar a cabo el cálculo dinámico de una dimensión instantánea (R_I) de la pieza (18, 38) sobre la base de uno de dichos valores promedio calculados ($M(j)$), de un índice de variación (P) indicativo de la variación de los valores promedio ($M(j)$) durante el mecanizado y de por lo menos un coeficiente de correlación (K),

20 el dispositivo de procesamiento y visualización (22) estando adaptado para proporcionar al control numérico (33) dicha dimensión instantánea (R_I) de la pieza (18, 38).

25 13. El aparato según la reivindicación 12 para controlar el mecanizado en una máquina de rectificar con un carro de la muela de rectificar (1) que transporta una muela de rectificar (4) en contacto con la pieza (18, 38) en un área de mecanizado (W), en donde dicho cabezal de verificación (39) coopera con la pieza (18, 38) en por lo menos un área de verificación (G), el dispositivo de procesamiento y visualización (22) estando adaptado para calcular dicho coeficiente de corrección (K) sobre la base de la disposición mutua de dicha área de mecanizado (W) y dicha por lo menos un área de verificación (G).

30 14. El aparato según la reivindicación 13 en el que el cabezal de verificación (39) incluye un palpador (17) y un dispositivo de referencia en forma de V (20) adaptado para entrar en contacto con la pieza (18, 38) que se va a verificar, dicho por lo menos un palpador (17) siendo móvil con respecto al dispositivo de referencia en forma de V (20).

35 15. El aparato según la reivindicación 14 para la verificación de una muñequilla (18) en movimiento orbital alrededor de un eje de giro (8) en el que el dispositivo de referencia en forma de V (20) está adaptado para entrar en contacto con la muñequilla (18) y mantener dicho contacto sustancialmente gracias a la fuerza de la gravedad.

40 16. El aparato según la reivindicación 15 incluyendo una estructura de soporte (5, 6, 9, 10, 12) para sostener de un modo móvil el cabezal de verificación (39) y permitir que el palpador (17) y el dispositivo de referencia en forma de V (20) mantengan el contacto con la muñequilla (18) durante su movimiento orbital.

45 17. El aparato según la reivindicación 16 en el que la estructura de soporte (5, 6, 9, 10, 12) está acoplada al carro de la muela de rectificar (1) de la máquina de rectificar e incluye elementos de acoplamiento alternativamente giratorios (9, 12).

50 18. El aparato según cualquiera de las reivindicaciones 12 a 17 en el que el dispositivo de procesamiento y visualización (22) está adaptado para llevar a cabo el cálculo dinámico de dicho índice de variación (P) sobre la base de los valores promedio dinámicamente calculados más recientes ($M(j)$).

55

60

65

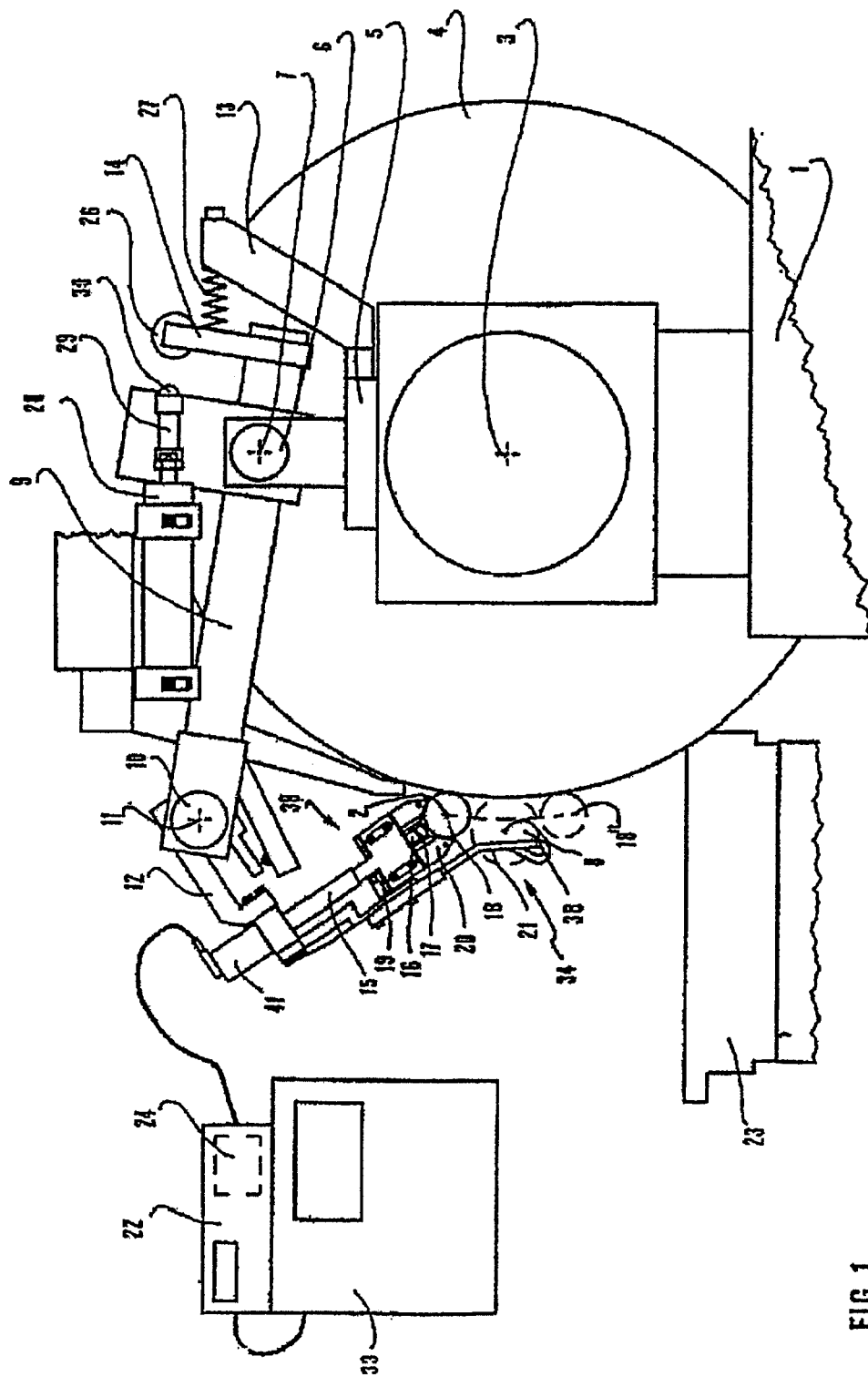


FIG.1

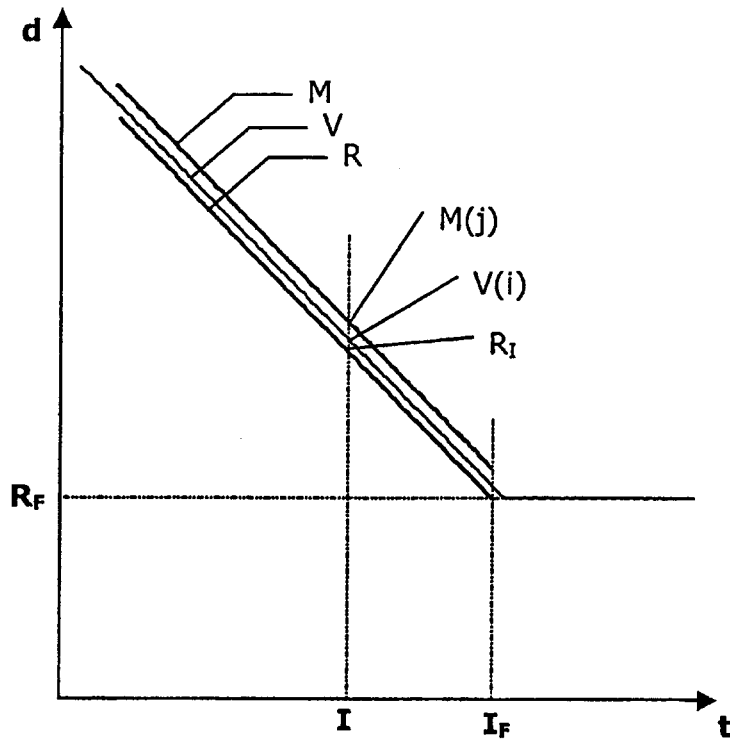


FIG. 4

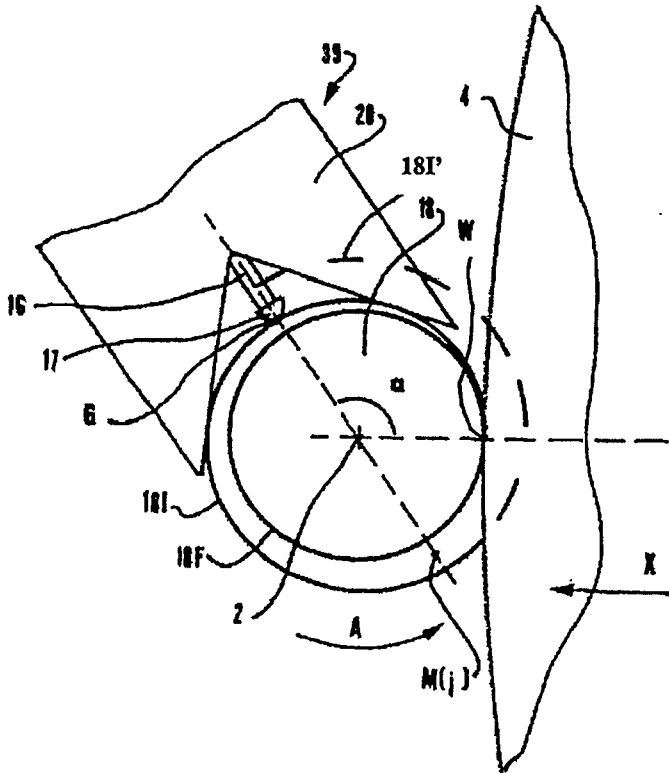


FIG. 2

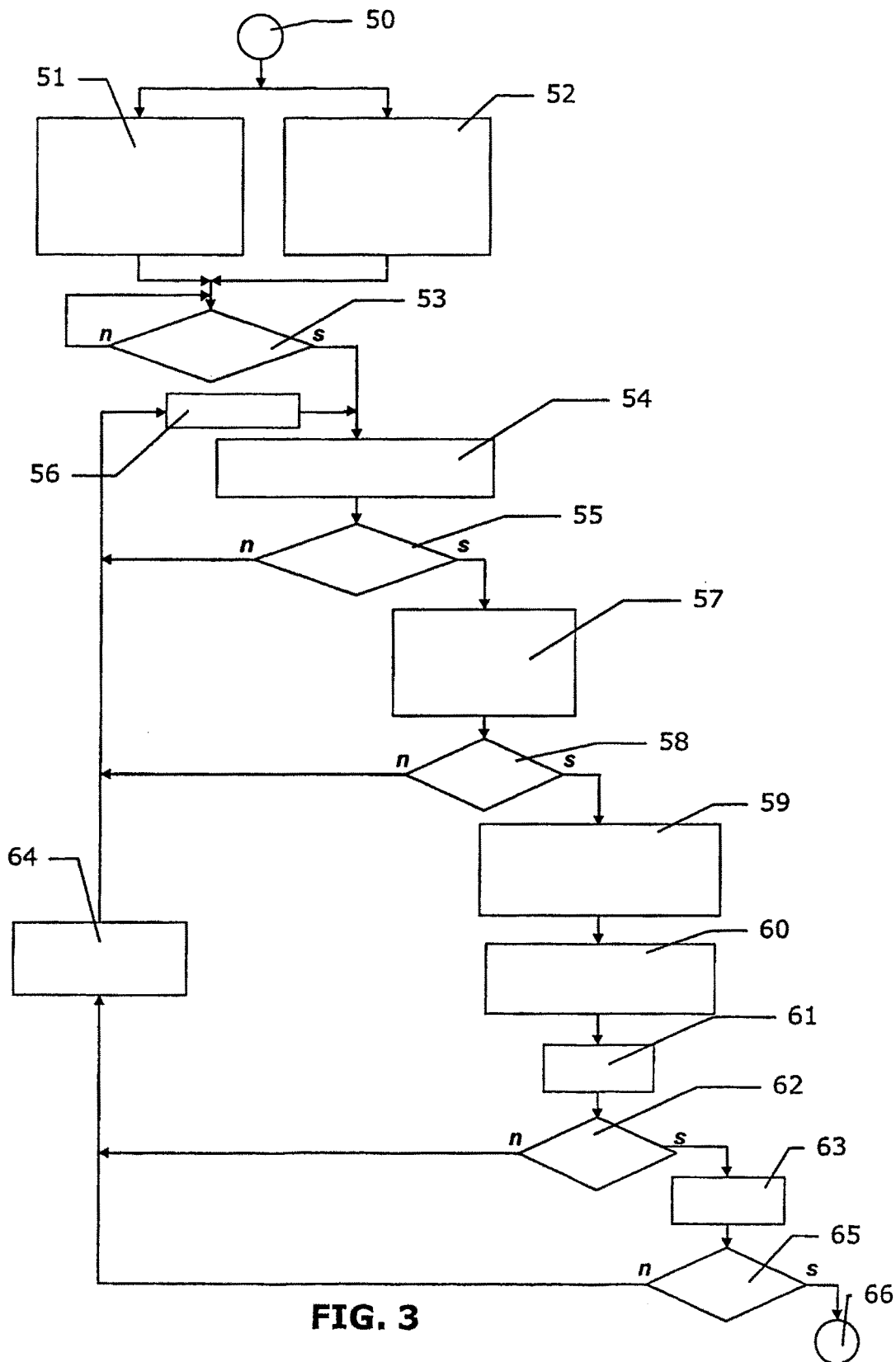


FIG. 3