

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 627 687**

51 Int. Cl.:

B24B 1/00 (2006.01)

B24B 5/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **29.12.2011** E 11380106 (2)

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **05.04.2017** EP 2610030

54 Título: **Método de rectificado**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
31.07.2017

73 Titular/es:

IDEKO, S.COOP. (100.0%)
Poligono Industrial de Arriaga, 2
20870 Elgoibar Guipuzcoa, ES

72 Inventor/es:

BARRENETXEA AZPEITIA, DAVID;
ALVAREZ RUIZ, JORGE y
BEDIAGA ESCUDERO, IÑIGO

74 Agente/Representante:

VEIGA SERRANO, Mikel

ES 2 627 687 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).

DESCRIPCION

Método de rectificado

5 Sector de la técnica

La presente invención está relacionada con los métodos de rectificado llevados a cabo en máquinas rectificadoras (máquinas rectificadoras planas, sin centros, cilíndricas, universales, etc.), con el objeto de obtener mecanizados de alta precisión tanto en dimensiones como en acabado superficial.

10

Estado de la técnica

El rectificado es un proceso de fabricación muy empleado como tecnología de acabado. Los procesos de rectificado cilíndrico, o rectificado sin centros, se encuentran dentro de las operaciones de rectificado más utilizadas, produciéndose el arranque de material, en estos procesos, por un ciclo de rectificado compuesto de múltiples etapas con ratios de alimentación constantes.

15

Los procesos de rectificado emplean una muela rectificadora que mecaniza una pieza durante el ciclo de rectificado, de forma general el proceso emplea tres velocidades de rectificado principales, una velocidad de giro de la pieza rectificadora, una velocidad de giro de la muela rectificadora y una velocidad de avance de aproximación entre la muela rectificadora y la pieza rectificadora.

20

Existen numerosas estrategias para optimizar el ciclo de rectificado, basadas todas ellas en variar únicamente de forma escalonada y constante la velocidad de avance de aproximación entre la muela rectificadora y la pieza rectificadora durante las distintas etapas que forman un ciclo de rectificado. Por otro lado, las velocidades de giro de la pieza y de la muela no sufren ningún tipo de variación y se mantienen constantes durante todo el ciclo de rectificado. La variación según escalones constantes provoca unos saltos bruscos entre etapas de la velocidad de avance, lo cual conlleva a la aparición de inestabilidades en el proceso, como vibraciones, que provocan un acabado irregular en la superficie de la pieza.

25

Por la solicitud de patente alemana DE102006015038 se conoce un método de rectificado sin centros en donde la velocidad de giro de la pieza varía según una función senoidal. Esta variación se emplea para evitar irregularidades en la superficie de la pieza provocadas por la aparición de vibraciones. Aunque esta solución minimiza en parte la apariencia de vibraciones, no garantiza un correcto acabado superficial de la pieza rectificadora, ya que a pesar de plantear una variación de la velocidad de giro de la pieza según una función senoidal, y no mantenerla constante como en los otros métodos convencionales, no indica que la velocidad de avance de aproximación de la pieza se haga de una forma no constante y escalonada, e igualmente no se indica que la velocidad de giro de la muela se realice de una forma no constante. Asimismo, en la solución de dicha patente alemana no se realiza ningún tipo de combinación de las velocidades de rectificado para obtener un mejor acabado superficial de la pieza.

30

35

Se hace por tanto necesario un método de rectificado que proponga una combinación de la variación de las distintas velocidades que componen el proceso de rectificado, de manera que se produzca la variación de dichas velocidades de rectificado según funciones continuas a lo largo de todo el tiempo que dura el ciclo de rectificado.

40

45 Objeto de la invención

De acuerdo con la presente invención se propone un método de rectificado basado en una variación continua y combinada de las velocidades inherentes a un proceso de rectificado, que permite reducir el tiempo de ciclo de rectificado, así como eliminar vibraciones indeseadas, manteniendo la calidad superficial de la pieza en relación a la rugosidad, redondez y tolerancia diametral, y la integridad de la pieza en relación a su estado tensional y dureza.

50

El método de rectificado objeto de la invención propone variar de forma continua y combinada, durante todo el ciclo de rectificado, al menos, la velocidad de giro de la pieza rectificadora y la velocidad de avance de aproximación entre la muela rectificadora y la pieza rectificadora. Las velocidades de rectificado se varían en función del espesor de viruta máximo y de una temperatura límite en la zona de corte definida entre la muela rectificadora y la pieza rectificadora.

55

Adicionalmente, en combinación con la velocidad de giro de la pieza rectificadora y la velocidad de avance de aproximación entre la muela rectificadora y la pieza rectificadora, se varía de forma continua la velocidad de giro de la muela rectificadora. En los casos en los que se emplea una muela reguladora para facilitar el rectificado, también se varía de forma continua y combinada la velocidad de giro de la muela reguladora.

60

Se ha previsto que para la variación de forma continua de las velocidades de rectificado se empleen señales en forma de rampas ascendentes o descendentes, señales sinusoidales, triangulares o logarítmicas, o cualquier otro tipo de señal que garantice una continuidad progresiva durante todo el tiempo que dure el ciclo de rectificado.

65

El método propuesto por la invención mejora el comportamiento del proceso de rectificado frente a los ciclos

convencionales, puesto que se evitan los cambios bruscos de velocidades que pueden producir perturbaciones durante el proceso. Además, la aplicación de este método reduce considerablemente las vibraciones autoexcitadas (chatter) y forzadas que aparecen tanto en la pieza como en la muela rectificadora. La aparición de estas vibraciones durante el proceso de rectificado conlleva la generación de ondulaciones en las superficies de la pieza rectificadora y de la muela rectificadora, que repercuten en la calidad superficial de la pieza (en cuanto a redondez, rugosidad o tolerancia diametral) y en el desgaste de la muela, con lo que no se consiguen las tolerancias requeridas.

Descripción de las figuras

10 La figura 1 muestra un esquema de una pieza y una muela de máquina rectificadora, con las diferentes velocidades que intervienen durante un ciclo de rectificado.

15 La figura 2 muestra unas gráficas con la velocidad de avance de la muela, la velocidad de giro de la muela, y la velocidad de giro de la pieza, según un ciclo de rectificado convencional.

La figura 3 muestra unas gráficas con la velocidad de avance de la muela, la velocidad de giro de la muela, y la velocidad de giro de la pieza, según un ciclo de rectificado de acuerdo con el método de la invención.

20 La figura 4 muestra un diagrama de bloques que representa el control que se realiza sobre las diferentes velocidades de rectificado.

Las figuras 5a y 5b muestran unas gráficas de amplitud y frecuencia en donde se comparan los resultados obtenidos entre el método de rectificado convencional de la figura 2 y el método de rectificado de la invención.

25 Las figuras 6a a 6e representan distintos tipos de rectificado a los que se puede aplicar el método de rectificado de la invención.

Descripción detallada de la invención

30 En la figura 1 se muestra un esquema con las diferentes velocidades que pueden formar parte de un proceso de rectificado llevado a cabo en una máquina rectificadora convencional. Así durante el tiempo total de un ciclo de rectificado (T), entre una muela rectificadora (M) y una pieza rectificadora (P) intervienen básicamente tres velocidades, una velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P), una velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M) y una velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P).

35 En la figura 2 se muestran unas gráficas en donde se representa un ciclo de rectificado convencional. Como se puede observar, las estrategias convencionales aplican velocidades de rectificado constantes que varían de forma escalonada durante el ciclo de rectificado (T). En el ejemplo concreto de la figura 2, la velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P) se varía de forma constante y escalonada durante las distintas etapas (t1, t2, t3, t4, t5) que dura el ciclo de rectificado (T), mientras que la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M) y la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P) permanecen constantes durante todo el ciclo de rectificado (T).

40 Los cambios escalonados producen perturbaciones que afectan al acabado superficial de la pieza rectificadora (P), con lo que no se consiguen las tolerancias requeridas. Uno de los principales inconvenientes es la aparición de vibraciones autoexcitadas ("chatter") y vibraciones forzadas, que aparecen tanto en la pieza rectificadora (P) como en la muela rectificadora (M). La aparición de estas vibraciones durante el proceso de rectificado conlleva la generación de ondulaciones en las superficies de la pieza rectificadora (P) y de la muela rectificadora (M) que repercuten en la calidad superficial de la pieza rectificadora (P) (en cuanto a redondez, rugosidad o tolerancia diametral) y en el desgaste de muela rectificadora (M).

45 Con el objeto de mejorar la calidad superficial de la pieza rectificadora (P) en relación a la rugosidad, redondez y tolerancia diametral, así como la integridad de la misma en relación a su dureza, la invención propone un método de rectificado basado en realizar, durante todo el tiempo que dura el ciclo de rectificado (T), una variación continua y combinada de las diferentes velocidades que forman parte del proceso de rectificado. (Ver figura 3).

50 Según un ejemplo de realización de la invención, se varían de forma continua y combinada, al menos, la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P) y la velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P), manteniéndose por ejemplo constante la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M). Según otro ejemplo de realización de la invención, en combinación con la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P) y la velocidad de avance de aproximación (Vf), se varía igualmente de forma continua la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M).

60 Como se puede observar en el diagrama de bloques de la figura 4, las variaciones de las velocidades de rectificado (Vs, Vf, Nw) se controlan de forma continua e independiente en respectivos módulos de control (CVs, CVf, CNw), y

en un módulo de control general (CG) se realiza la combinación favorable de dichas variaciones de acuerdo con la estrategia de rectificado que se desee aplicar.

5 Una vez configuradas las variaciones de las velocidades de rectificado, el módulo de control general (CG) manda las órdenes de variación a cada uno de los módulos de control (CVs, CVf, CNw) independientes de cada una de las velocidades de rectificado, los cuales ejecutan las acciones de variación seleccionadas. Estos módulos de control (CVs, CVf, CNw) actúan sobre el cabezal de la muela rectificadora (M), el cabezal de la pieza rectificadora (P) y sobre el carro de la máquina herramienta que produce el avance de aproximación entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P), variando así de forma continua sus valores en función de la estrategia establecida.

10 Las variaciones de las velocidades de rectificado (Vs, Vf, Nw) pueden seguir diferentes tipos de señales en función de los objetivos buscados a la hora de rectificar la pieza rectificadora (P), pudiendo ser rampas ascendentes o descendentes, señales sinusoidales, triangulares, logarítmicas, etc., pero siempre señales continuas durante todo el ciclo de rectificado. En el módulo de control general (CG) se especifica el momento inicial y final de cada una de las variaciones de las velocidades de rectificado (Vs, Vf, Nw), así como su frecuencia y amplitud.

15 Según un ejemplo no limitativo de la invención, la variación de la señal de velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P) se encuentra por debajo de los 5 Herzios de frecuencia y su amplitud no varía más del 50%. En el caso de la muela rectificadora (M), debido a que trabaja a velocidades de giro mayores, la variación de la señal de velocidad de giro (Vs) se encuentra por debajo de los 2 Herzios de frecuencia y su amplitud no varía más del 50%. La variación de la señal de velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P) se encuentra por debajo de los 5 Herzios de frecuencia y su amplitud puede llegar incluso a ser del 100%. Los valores de amplitud anteriormente mencionados pueden variar en función de las estrategias de rectificado empleadas.

20 Las estrategias empleadas para la variación de las velocidades de rectificado son función de dos parámetros de rectificado, el espesor de viruta máximo (h_{cu}) y el dañado térmico de la pieza que se produce cuando se alcanza en la zona de corte (zona de contacto entre la muela y la pieza) una temperatura límite (θ^*).

25 El espesor de viruta máximo (h_{cu}) tiene influencia en las fuerzas que se generan durante el rectificado, en el acabado superficial de la pieza rectificadora (P), en el desgaste de la muela rectificadora (M) o incluso en la estabilidad dinámica del proceso. Las fuerzas de rectificado son las fuerzas necesarias para arrancar el material y se generan en el contacto entre la pieza rectificadora (P) y la muela rectificadora (M).

30 La relación entre las velocidades de rectificado (Vs, Vf, Nw) y el espesor de viruta máximo (h_{cu}) responde a la siguiente ecuación:

35

$$40 \quad h_{cu} = \left[\frac{4}{Cr} \left(\frac{v_w}{v_s} \right) \left(\frac{a}{d_e} \right)^{\frac{1}{2}} \right]^{\frac{1}{2}}$$

en donde:

45 $C_r = C \cdot r$

siendo "C" la densidad activa de los granos de la muela y "r" es el factor de forma del grano (ratio entre el ancho de la viruta y el espesor de la viruta);

d_e es el diámetro equivalente del proceso;

50 v_w es la velocidad periférica de la pieza rectificadora (P);

v_s es la velocidad de giro de la muela rectificadora (M);

y "a" es el avance entre muela y pieza por cada giro de muela, que para el rectificado cilíndrico responde a la siguiente expresión:

55

$$a = \frac{v_f}{N_w}$$

siendo "Vf" la velocidad de avance de aproximación entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P); y "Nw" velocidad de giro de la pieza rectificadora (P).

60 Mediante la variación continua de las velocidades de rectificado que propone la invención, se puede controlar, el tiempo que dura el ciclo de rectificado (T), el valor que toma el espesor de viruta máximo (h_{cu}), cuestión ésta que no es posible en los métodos convencionales, en donde las velocidades varían de forma escalonada durante las distintas etapas (t_1, t_2, t_3, t_4, t_5) que dura el ciclo de rectificado (T).

65 Así, a mayor velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificadora (P), o a mayor velocidad de avance de aproximación (Vf), el espesor de viruta máximo (h_{cu}) es mayor, mientras que a mayor velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora

(M) el espesor de viruta máximo (h_{cu}) es menor.

Para valores bajos de espesor de viruta (h_{cu}) se consiguen acabados superficiales mejores mediante la obtención de una rugosidad y redondez de la pieza rectificadora (P) más bajas, además de unas fuerzas de rectificado menores.

El otro parámetro de rectificado que se tiene en cuenta para la variación de las velocidades de rectificado es el daño térmico, el cual afecta negativamente al acabado superficial de la pieza. Se produce daño térmico cuando se alcanza una temperatura límite (θ^*) en la zona de corte definida entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P). En general, el daño térmico se produce cuando la potencia de rectificado es superior a una potencia límite de quemado.

Para evitar la aparición de daño térmico la invención propone una combinación favorable de las velocidades de rectificado. Para ello, la combinación de velocidades de rectificado idóneas durante los primeros instantes del ciclo de rectificado (T), donde la velocidad de avance de aproximación (V_f) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P) adquiere su valor más alto, se consigue para velocidades de giro (N_w) de la pieza rectificadora (P) altas, y para velocidades de giro (V_s) de la muela rectificadora (M) más bajas.

Un ejemplo de combinación de velocidades óptimas para evitar la aparición de daño térmico en la pieza rectificadora (P), a la vez que se consigue un buen acabado superficial, se muestra en la grafica de la figura 3, donde se comienza el ciclo de rectificado (T) con una velocidad de avance de aproximación (V_f) y una velocidad de giro (N_w) elevadas, que se van reduciendo de forma continua a la vez que la velocidad de giro (V_s) de la muela rectificadora (M) se va incrementando desde una velocidad inicial baja.

La supresión o atenuación de vibraciones en la pieza rectificadora (P) y en la muela rectificadora (M) durante el rectificado, se consigue variando de forma continua la velocidad de giro (N_w) de la pieza rectificadora (P) y la velocidad de giro (V_s) de la muela rectificadora (M), con lo que se produce una perturbación en la regeneración de la vibración.

Asimismo, se pueden atenuar las vibraciones, minimizando las fuerzas de rectificado mediante una reducción continua de la velocidad de avance de aproximación (V_f) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P). Así, como se observa en la figura 3, en el último tramo del ciclo de rectificado (T) la velocidad de avance de aproximación (V_f) se reduce de forma progresiva, para conseguir atenuar las vibraciones.

En las figuras 5a y 5b se muestra una comparativa experimental de las vibraciones que se producen para una velocidad de avance de aproximación (V_f) constante y escalonada, como la representada en el ciclo de rectificado convencional de la figura 2, y para una velocidad de avance de aproximación (V_f) continua y decreciente, como la representada en el ciclo de rectificado de la figura 3, según la invención.

Concretamente en la figura 5a se muestra la señal de vibración obtenida con un acelerómetro durante el proceso de rectificado, indicando la referencia (A) la señal obtenida para una velocidad continua y decreciente, y la referencia (B) la señal obtenida para una velocidad constante y escalonada. Como se puede observar, para el caso de la invención al final del ciclo la señal de vibración disminuye (Zona referenciada como sección II).

A continuación se muestra una tabla con resultados experimentales, en donde se puede observar que para el caso de la invención los valores de redondez y rugosidad obtenidos son sensiblemente inferiores respecto del caso convencional.

Ciclo	Rugosidad Ra (μm)	Redondez (μm)
A	0.46	3.6
B	0.67	9.7

Seguidamente se muestran unos resultados experimentales, en donde se observan las mejoras producidas en un proceso de rectificado cilíndrico al aplicar de forma combinada la variación continua de la velocidad de giro (N_w) y la variación continua de la velocidad de avance de aproximación (V_f), comparando los resultados obtenidos en este caso con los resultados de un ciclo convencional equivalente con velocidades constantes y escalonadas.

En los resultados obtenidos en relación a la calidad superficial de la pieza rectificadora (P), se puede apreciar una mejora de los valores de rugosidad y redondez para el ciclo de rectificado con variación continua de velocidades propuesto por la invención, manteniéndose los valores de tolerancia diametral de la pieza rectificadora (P). Además, en la tabla también se muestran los resultados obtenidos en ambos casos para un ciclo con una fase de chispeo ("spark out"). El chispeo es una fase final del rectificado, de unos dos segundos de duración, que se basa en hacer diversas pasadas hasta hacer desaparecer las chispas y mejorar el acabado superficial.

Ciclo		Rugosidad (μm)	Redondez (μm)	Tolerancia diametral (μm)
Rectificado convencional velocidades constantes	con chispeo	0.41	0.7	1
	sin chispeo	0.52	1.7	3
Rectificado con variación continua de velocidades	con chispeo	0.36	0.5	0
	sin chispeo	0.42	0.7	1

5 Se observa que los valores obtenidos para el ciclo con variación continua de velocidades sin chispeo son similares a los resultados obtenidos para el ciclo convencional con chispeo, con lo que se deduce que para unos valores requeridos de tolerancias dimensionales y superficiales, se puede reducir el tiempo total de ciclo aplicando el método de rectificado de la invención, habiéndose eliminado en este ejemplo los dos segundos de tiempo de chispeo.

10 A modo de ejemplo ilustrativo, en las figuras 6a a 6e se muestran distintos procesos de rectificado a los que se les puede aplicar el método de rectificado propuesto por la invención, concretamente un rectificado cilíndrico exterior en penetración (figura 6a), un rectificado cilíndrico interior en penetración (figura 6b), un rectificado sin centros en penetración (figura 6c), un rectificado sin centros pasante (figura 6d) y un rectificado en vaivén. Como se muestra en estos ejemplos, en determinados procesos de rectificado se emplea una muela reguladora (M_r), resultando evidente para un experto en la materia que la velocidad de giro (N_r) de la muela reguladora (M_r) se puede variar igualmente de forma continua y en combinación con el resto de las velocidades de rectificado.

15 Por otra parte, el método de variación continua y combinada de las velocidades de rectificado, también puede ser utilizado para la configuración de los procesos de rectificado conocidos como “grind-strengthening” y “grind-hardening”.

20 En el rectificado “Grind-strengthening” los efectos mecánicos que aparecen durante las últimas fases de los ciclos de rectificado de acabado y chispeo, producen un efecto de generación de tensiones residuales de compresión y endurecimiento de la capa superficial de la pieza rectificadora (P), debido a la deformación plástica inducida mecánicamente. Este fenómeno conduce a una mayor resistencia al desgaste y resistencia a fatiga de las piezas rectificadas (P). Mediante la utilización del método de variación continua y combinada de las velocidades de
25 rectificado es posible también controlar la cantidad de viruta eliminada durante las últimas fases del ciclo de rectificado comentadas, generando tensiones residuales de compresión y consiguiendo una mejora en la calidad superficial de la pieza rectificadora (P).

30 El rectificado “grind-hardening” permite acortar los tiempos de proceso de mecanizado de piezas sustituyendo los procesos de tratamiento térmico de endurecimiento convencionales. Éste rectificado consiste en la obtención de un endurecimiento superficial de la pieza rectificadora (P) y el acabado de la misma durante la propia operación de rectificado. Para ello se aprovecha el calor generado en la zona de contacto entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificadora (P) para conseguir la austenización de la misma durante el proceso. El mayor problema actual para la aplicación industrial de esta tecnología en el rectificado cilíndrico reside en la aparición del fenómeno “hardness slip”, el cual describe una reducción de la profundidad de endurecimiento en la zona “overlapping” causada por los
35 efectos de recocido o la disminución de la carga térmica. Las técnicas actuales para evitar el fenómeno de “hardness slip” se fundamentan en el rediseño de la geometría inicial de la pieza. Mediante el método de variación continua y combinada de las velocidades de rectificado es posible obtener un mayor control de la profundidad de corte, calor generado, calor transmitido a la pieza y temperatura alcanzada en todo momento durante el proceso de rectificado, con lo cual constituye una herramienta potencial para asegurar una carga térmica constante sobre la circunferencia de la pieza rectificadora (P).
40

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Método de rectificado, que emplea una muela rectificadora (M) para mecanizar durante un ciclo de rectificado (T) una pieza rectificada (P), utilizándose al menos tres velocidades de rectificado, las cuales son una velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificada (P), una velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M) y una velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificada (P), caracterizado en que se realiza durante todo el ciclo de rectificado (T) una variación continua y combinada de, al menos, la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificada (P) y la velocidad de avance de aproximación (Vf) entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificada (P) y las velocidades de rectificado se varían en función del espesor de viruta máximo (h_{cu}) y de una temperatura límite (θ^*) en la zona de corte definida entre la muela rectificadora (M) y la pieza rectificada (P).
- 10 2.- Método de rectificado, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizado en que en combinación con la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificada (P) y la velocidad de avance de aproximación (Vf), se varia de forma continua la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M).
- 15 3.- Método de rectificado, de acuerdo con las reivindicaciones primera y segunda, caracterizado en que en combinación con la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificada (P), la velocidad de avance de aproximación (Vf) y la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M), se varia de forma continua la velocidad de giro (Nr) de una muela reguladora (Mr).
- 20 4.- Método de rectificado, de acuerdo con la primera reivindicación, caracterizado en que las velocidades de rectificado varían de forma continua según rampas ascendentes o descendentes, señales sinusoidales, triangulares o logarítmicas.
- 25 5.- Método de rectificado, de acuerdo con las reivindicaciones primera y segunda, caracterizado en que la velocidad de avance de aproximación (Vf) y la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificado van decreciendo mientras la velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M) se va incrementando.
- 30 6.- Método de rectificado, de acuerdo con las reivindicaciones primera y segunda, caracterizado en que la variación de la velocidad de giro (Nw) de la pieza rectificada (P) se encuentra por debajo de los 5 Hercios de frecuencia; la variación de la señal de velocidad de giro (Vs) de la muela rectificadora (M) encuentra por debajo de los 2 Hercios de frecuencia y su amplitud no varía más del 50%; y la variación de la señal de velocidad de avance de aproximación (Vf) se encuentra por debajo de los 5 Hercios.
- 35 7.- Método de rectificado, de acuerdo con las reivindicaciones primera y segunda, caracterizado en que las velocidades de rectificado se controlan de forma continua e independiente en respectivos módulos de control (CVs, CVf, CNw) y se combinan en un módulo de control general (CG).
- 40

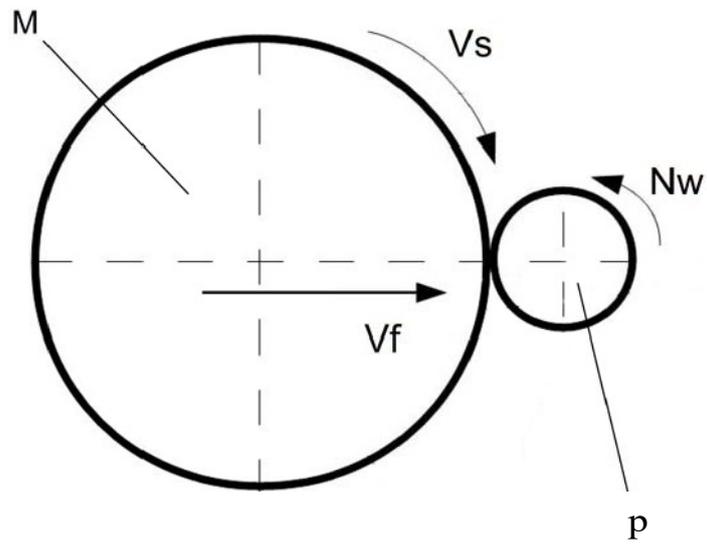


Fig. 1

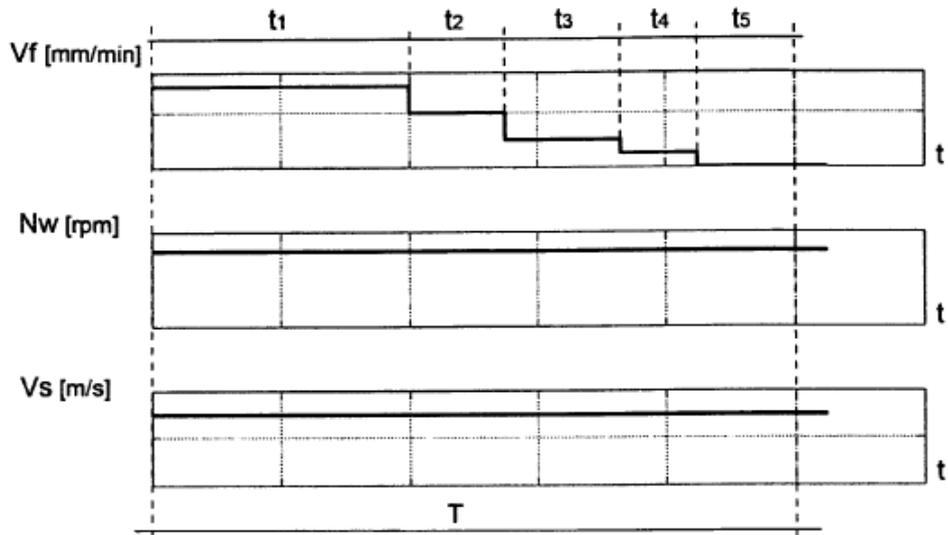


Fig. 2

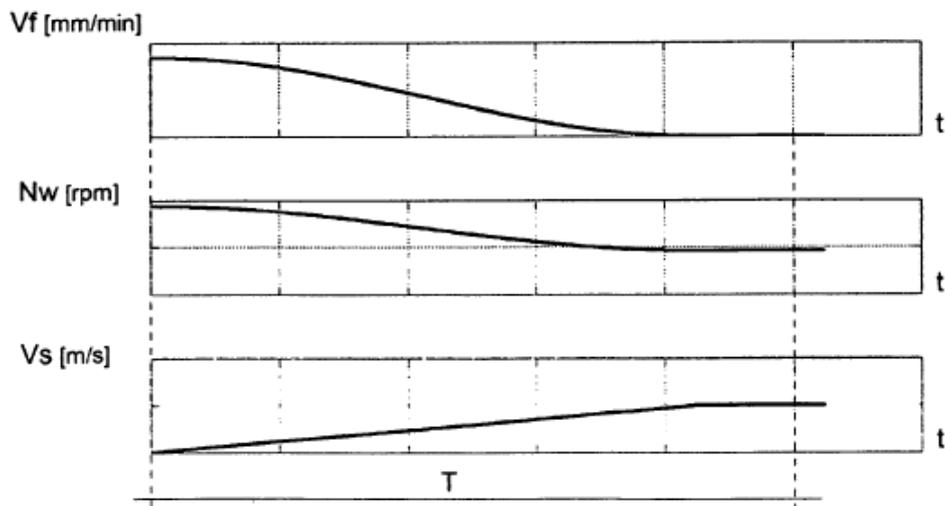


Fig. 3

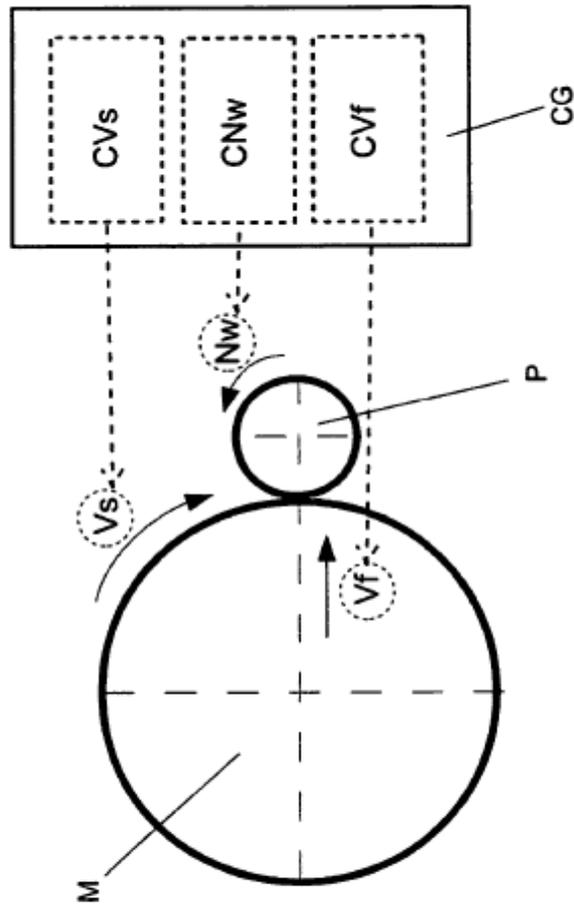


Fig. 4

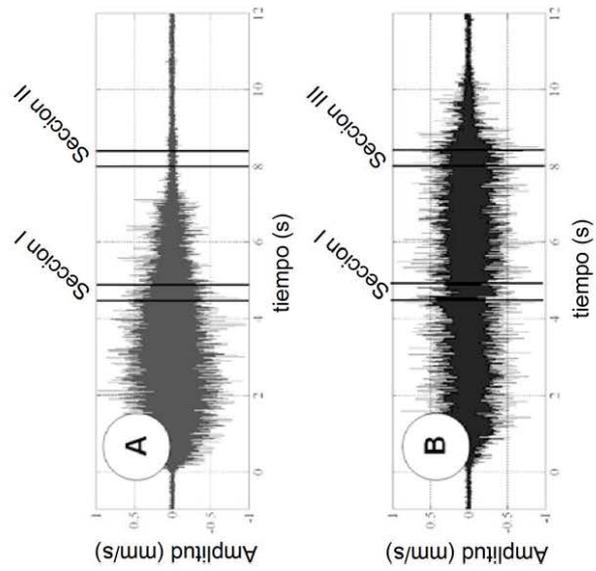


Fig. 5a

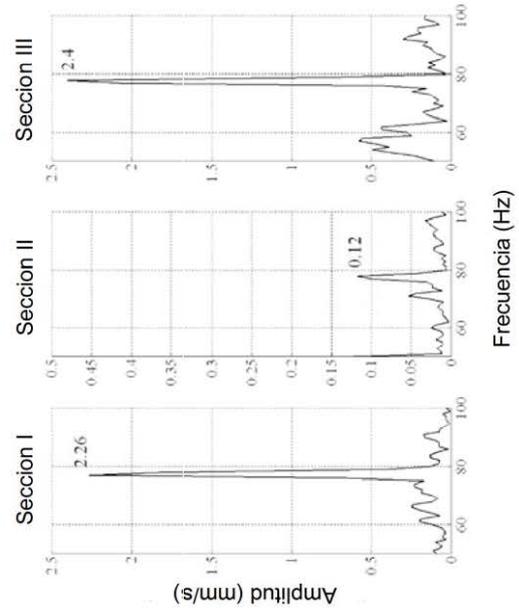


Fig. 5b

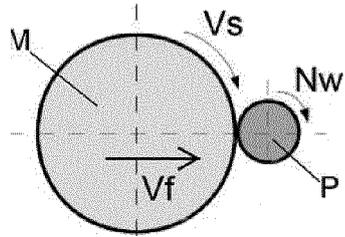


Fig. 6a

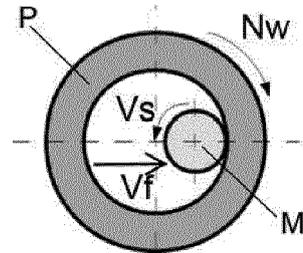


Fig. 6b

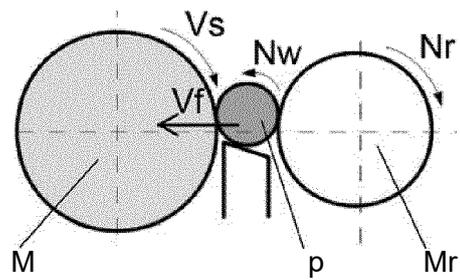


Fig. 6c

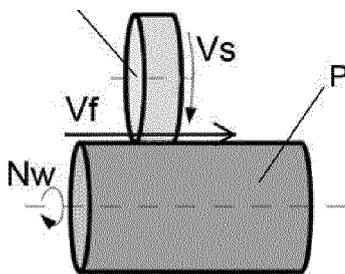


Fig. 6d

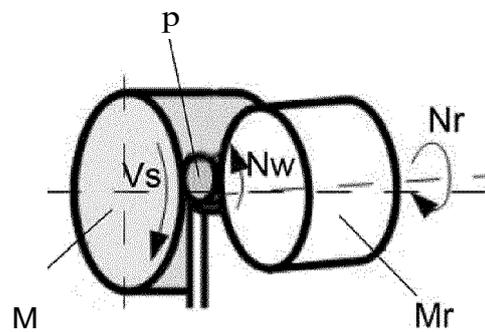


Fig. 6e