

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 965 775**

51 Int. Cl.:  
**G05B 19/4093** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **03.07.2019 PCT/EP2019/067869**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.01.2020 WO20011623**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **03.07.2019 E 19736669 (3)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **30.08.2023 EP 3821307**

54 Título: **Procedimiento de fresado**

30 Prioridad:  
**09.07.2018 DE 102018116553**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la  
traducción de la patente:  
**16.04.2024**

73 Titular/es:  
**EXERON GMBH (100.0%)  
Beffendorfer Strasse 6  
78727 Oberndorf a. N., DE**

72 Inventor/es:  
**MAYER, JOACHIM**

74 Agente/Representante:  
**CARVAJAL Y URQUIJO, Isabel**

ES 2 965 775 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 de fresado

Campo técnico

5 La invención se refiere a un procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo con una herramienta de fresado que está dispuesta en un husillo giratorio, en donde el husillo se desplaza con respecto a la pieza de trabajo o la pieza de trabajo se desplaza con respecto al husillo a lo largo de una trayectoria de mecanizado y el husillo gira alrededor de un eje de husillo, en donde se controla una velocidad de rotación y/o una posición de fase de la rotación del husillo a lo largo de la trayectoria de mecanizado, así como un dispositivo y un programa informático para llevar a cabo el procedimiento y una estructura de datos para codificar el programa informático.

10 Estado de la técnica

15 Los sistemas de control numérico se utilizan en las máquinas herramienta modernas para controlar el posicionamiento y el movimiento de las herramientas en relación con una pieza de trabajo. Para mecanizar una pieza de acuerdo con una especificación, es necesario mover la herramienta con respecto a la pieza en trayectorias previamente definidas. Por lo tanto, también se denomina control de trayectorias. Las trayectorias deseadas se definen en un programa de pieza que procesa el control numérico. El sistema de control numérico convierte las instrucciones geométricas del programa de mecanizado en instrucciones para el control de posición de los diferentes ejes de avance de la máquina herramienta. Durante el proceso de fresado, el husillo de fresado que acciona la herramienta suele funcionar a una velocidad constante que se especifica en el programa de pieza por razones tecnológicas (palabra S según la norma DIN 66025). En el programa de mecanizado también se programa una velocidad de trayectoria para la herramienta (palabra F según la norma DIN 66025), que normalmente se refiere al TCP (punto central de la herramienta) o al punto de enganche de la herramienta en la misma.

20 Se conocen procesos de fresado genéricos, por ejemplo, de los documentos DE 10 2015 112 577 A1, DE 10 2010 060 220 A1, WO 2017/056025 A1, "Fräsen mit SINUMERIK - Formenbau von 3- bis 5- Achsen Simultanfräsen" o JP 2017-001153 A1.

25 Si las superficies producidas por la tecnología de fresado se producen por "tronzado", hay una serie de razones por las que los enganches del filo de corte de la herramienta en trayectorias de fresado vecinas en la pieza de trabajo están más o menos arbitrariamente desplazados en su posición de fase con respecto a los demás. Por ejemplo, la posición del husillo no está acoplada exactamente con el avance de la trayectoria (por ejemplo, con un husillo de velocidad controlada) o la integral de la longitud de la trayectoria en trayectorias de fresado vecinas no es un múltiplo del avance del diente (desplazamiento incluso con un acoplamiento de posición dado entre los ejes de avance y el husillo).

30 Además, se produce una variación de la velocidad de avance, por ejemplo, en los desplazamientos rápidos para el posicionamiento o la reducción de la velocidad de avance durante la inversión, lo que -a velocidad constante del husillo- significa que se pierde la sincronización entre los parámetros de la trayectoria y la posición del husillo. Cuando no se alcanza el avance programado, la posición angular del husillo es prácticamente aleatoria.

35 Como resultado, las piezas fresadas fabricadas según el estado de la técnica suelen presentar estructuras superficiales celulares irregulares, como se muestra en la Figura 8. En la Figura 8, las trayectorias de fresado discurren de izquierda a derecha. Puede observarse cómo los puntos de enganche de los filos de corte de la herramienta en trayectorias de fresado vecinas están sincronizados aleatoriamente. Sin embargo, siempre se producen desplazamientos, que dan lugar a un aspecto visualmente irregular (rayas más anchas) de la superficie. En el caso de herramientas para moldeo por inyección, o similares, esta estructura puede trasladarse al producto final.

Divulgación de la invención

Tarea técnica

45 Una tarea de la invención es especificar un procedimiento que permita producir específicamente una posición de fase de los enganches del filo de corte de la herramienta en trayectorias de fresado vecinas. Con ello se pretende, en particular, mejorar la calidad de la superficie.

Solución técnica

50 Este problema se resuelve mediante un procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1. El problema anterior se resuelve en particular mediante un procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo con una herramienta de fresado que está dispuesta en un husillo giratorio, en donde el husillo se desplaza con respecto a la pieza de trabajo o la pieza de trabajo se desplaza con respecto al husillo a lo largo de una trayectoria de mecanizado y el husillo gira alrededor de un eje de husillo, en donde se controla una velocidad de rotación y/o una posición de fase de la rotación del husillo a lo largo de la trayectoria de mecanizado y en donde la trayectoria de mecanizado comprende trayectorias paralelas

- en forma de línea. La trayectoria de mecanizado comprende trayectorias paralelas dispuestas en filas una al lado de la otra, y la posición de fase del husillo es la misma o esencialmente la misma en trayectorias vecinas a lo largo de la trayectoria de mecanizado. Debido a la misma posición de fase, el patrón introducido en la superficie por el proceso de fresado es el mismo en las trayectorias vecinas, dando la impresión visual de una superficie mecanizada uniformemente. Por lo tanto, el acabado superficial permite prescindir del pulido de la superficie.
- 5 La posición de fase se controla variando la velocidad del husillo y/o el avance del husillo en relación con la pieza a lo largo de la trayectoria de mecanizado.
- En una realización de la invención, la velocidad y/o la posición de fase se controlan a lo largo de la trayectoria de mecanizado en al menos un punto de sincronización con un valor de consigna predeterminado.
- 10 En una realización de la invención, la velocidad y/o la posición de fase se controlan a lo largo de la trayectoria de mecanizado en varios puntos de sincronización con un valor de consigna predeterminado en cada caso.
- En una realización de la invención, el control de la velocidad y la posición de fase al punto de consigna se inicia en un punto de activación antes de que se alcance un punto de sincronización.
- 15 En una realización de la invención, la posición de fase se controla reduciendo o aumentando la velocidad del husillo. De este modo, la posición de fase del husillo puede controlarse únicamente regulando la velocidad del husillo sin cambiar la velocidad de avance.
- En una realización de la invención, la posición de fase se controla reduciendo o aumentando el avance del husillo con respecto a la pieza a lo largo de la trayectoria de mecanizado. En esta variante, se utiliza una intervención en el avance para sincronizar la posición de fase.
- 20 En una realización de la invención, la posición de fase de una herramienta de fresado con varios filos de corte se desplaza un múltiplo del paso de los filos de corte. En lugar de basarse en revoluciones completas del cabezal, es decir, el ángulo en el intervalo de 0° a 360° (o ángulo módulo 360°), la sincronización se basa en filos de corte individuales. Por ejemplo, si el cabezal de fresado tiene 10 filos de corte, la sincronización puede tener lugar cada 36° (360°/10).
- 25 El problema mencionado al principio también se resuelve mediante un dispositivo para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en donde este comprende medios para desplazar una pieza de trabajo con respecto a una herramienta de fresado dispuesta en un husillo y medios para el control de velocidad y el control de fase de la rotación del husillo.
- 30 En una realización de la invención, el husillo es accionado por un motor eléctrico de posición controlada. En una realización de la invención, el dispositivo comprende medios para determinar la posición angular del husillo.
- El problema mencionado al principio también se resuelve mediante un programa informático para ejecutar un procedimiento según la invención y una estructura de datos para codificar un programa informático para ejecutar un procedimiento según la invención.
- Breve descripción de los dibujos
- 35 A continuación, se explican con más detalle ejemplos de realizaciones de la invención con referencia a los dibujos adjuntos. En ellos:
- Figura 1 muestra un esquema de un perfil de valor límite de velocidad como resultado de la planificación de la trayectoria,
- Figura 2 muestra un croquis de un perfil de valor límite de velocidad como ajuste al perfil de valor límite desde abajo,
- 40 Figura 3 muestra un esquema de una exploración del perfil de velocidad de la trayectoria en el ciclo de interpolación,
- Figura 4 muestra un esquema de la exploración conjunta del perfil de velocidad de la trayectoria y un perfil de velocidad del husillo en el ciclo de interpolación,
- Figura 5 muestra un esquema de la igualación de fase del husillo hacia un límite de bloque,
- Figura 6 muestra un esquema de la igualación de fase mediante la reducción limitada en el tiempo del nivel de avance hasta un límite de bloque,
- 45 Figura 7 muestra un esquema de la igualación de fase descendente con planificación de trayectoria dinámicamente imposible hasta el límite de bloque programado,
- Figura 8 muestra un esquema de la superficie de una pieza fresada mediante un procedimiento de fresado según el estado de la técnica.

Realizaciones de la invención

5 Los programas NC describen la trayectoria de fresado en una secuencia de elementos geométricos simples. Los puntos de interpolación (de trayectoria) o puntos de interpolación de trayectoria son los límites respectivos entre dos elementos geométricos siguientes. Estas coordenadas se toman del programa NC por línea como frase NC. El parámetro de trayectoria (también denominado integral de longitud de trayectoria) describe exactamente un punto de la trayectoria descrita en el programa de mecanizado, que puede encontrarse entre los puntos de interpolación de las frases NC.

En lo sucesivo, un punto de sincronización es cualquier punto del trayecto (= parámetro del trayecto) en donde se aplica simultáneamente lo siguiente:

- 10  $nS_{pdl} - n_{prog}$  (la velocidad del cabezal está en el valor especificado en el programa)
- $v_b = v_{prog}$  (el avance está en el valor especificado en el programa)
- $\phi S_{pdl} = \phi_{prog}$  (la posición angular (fase) del cabezal está en el valor especificado en el programa)
- $aS_{pdl} = 0$  (la velocidad del cabezal es constante)
- $a_b = 0$  (el cabezal no se acelera traslacionalmente en la dirección x, y, z)

15 Un punto de activación se define aquí como el inicio (en tiempo y/o parámetros de trayectoria) para planificar un perfil de movimiento hacia un punto de sincronización.

20 Mediante la programación de un avance y una velocidad de husillo en un programa NC de un control CNC, se define un avance del diente determinado tecnológicamente. En principio, la tarea de todo CNC consiste en mantener este avance programado (deseado o máximo) con la mayor precisión posible, sin sobrepasar este valor máximo y respetando, al mismo tiempo, los valores límite dinámicos de los ejes implicados. En las zonas de curvatura de la trayectoria, el nivel de avance debe reducirse para no sobrecargar dinámicamente los accionamientos de avance de los ejes o para cumplir determinados requisitos de precisión de la trayectoria. Esto se consigue calculando previamente un perfil de valor límite de velocidad como parte de la denominada planificación de la trayectoria, como se muestra en la Figura 1.

25 Cada línea de programa se denomina N10, N20 y así sucesivamente hasta N100 en la Figura 1 y en el texto siguiente basado en Din/Iso o G-Code. Para cada línea de programa, un control CNC de última generación determina un avance máximo como perfil de valor límite de velocidad para la planificación de la trayectoria. El perfil del valor límite de velocidad contiene el avance programado en el programa NC o el avance  $V_{lim, prog}$ , así como los valores máximos determinados dinámicamente para la velocidad de trayectoria dentro de la frase  $V_{lim, dyn}$  y la velocidad de transición máxima por transición de frase  $V_{lim, über}$  como resultado del análisis de la trayectoria.

30 La tarea del llamado generador de perfiles de velocidad consiste en calcular un perfil de velocidad sobre el parámetro de trayectoria (o tiempo, dependiendo de la implementación), que se ajusta a los valores mínimos del perfil de valor límite desde abajo, es decir, desde valores inferiores, ya que no debe superarse el valor máximo, mediante perfiles de velocidad tangente continuos al nivel más alto posible, pero que no supera el perfil de valor límite en ningún punto. Si se selecciona una representación en el tiempo, se obtienen segmentos polinómicos de segundo orden para el perfil de velocidad, cuyos límites de segmento, en el caso más general, no se encuentran exactamente ni en el límite de un registro ni en un punto en el tiempo muestreado posteriormente por el interpolador, como se muestra en la Figura 2. La velocidad  $v_b$  se encuentra en cualquier punto por debajo de los valores de  $V_{lim, prog}$ ,  $V_{lim, dyn}$  y  $V_{lim, über}$  mostrados en la Figura 1.

35 Finalmente, el perfil de velocidad calculado de antemano de este modo es explorado por el llamado interpolador de exploración en el tiempo de ciclo de la llamada toma de interpolación como puntos de exploración IPO y se calculan las consignas de posición para todos los ejes de avance implicados en el movimiento. Esto también significa que no todos los puntos de interpolación NC se emiten al controlador del eje como un punto de consigna de posición exacto, ya que el límite de bloque NC exacto se encuentra generalmente entre dos puntos de muestreo IPO. El barrido se muestra esquemáticamente en la Figura 3. Con un intervalo de tiempo  $T_a$ , los valores de posición  $s_b$  son determinados por los sensores de posición correspondientes de todos los ejes y transmitidos al controlador.

La determinación antes descrita del perfil de velocidad y el control resultante de los avances de todos los ejes son conocidos en el estado de la técnica.

50 Según la invención, la curva de velocidad de un husillo controlado por posición se determina y controla a través de la trayectoria. Además, el ángulo (fase) del husillo se controla a un valor especificado en determinados puntos. Una representación gráfica se basa en la del perfil de velocidad de la trayectoria.

De acuerdo con la invención, la velocidad de un cabezal controlado por posición puede mapearse de la misma forma que un perfil de velocidad de trayectoria en la misma representación de un plan de velocidad sobre el parámetro de

trayectoria (o tiempo) como se muestra en la Figura 4. Las consignas de posición cíclicas pueden entonces muestrearse simultáneamente a partir de ambos perfiles.

Con este procedimiento, a cada punto de trayectoria interpolado se le asigna exactamente una orientación del husillo (es decir, un ángulo del husillo con respecto a un punto cero; una fase de la rotación del husillo). En particular, existe una "cuasi sincronización" entre la velocidad del husillo y la velocidad de la trayectoria en las zonas de avance constante de la trayectoria y de velocidad constante del husillo. Sin embargo, en el estado de acoplamiento exacto de la velocidad entre el husillo y la trayectoria, el husillo sigue teniendo un grado de libertad de orientación del husillo en relación con el intervalo de longitud de la trayectoria, que puede entenderse matemáticamente como una constante de integración. Según la invención, este grado de libertad se proporciona con parámetros objetivo (=programados) y se produce en forma optimizada en el tiempo, respetando los límites dinámicos.

Para suministrar los parámetros diana, se asigna una orientación exacta del husillo a al menos un punto de la trayectoria. Según la invención, esta asignación tiene lugar de manera especialmente ventajosa en el programa NC. La programación de una condición de sincronización de este tipo conduce al menos (Fig. 5) una vez por cada trayectoria de fresado adyacente a una orientación definida del husillo. Con órdenes de sincronización dadas, la tarea del procedimiento según la invención consiste en primer lugar en determinar si es posible la planificación de la trayectoria respetando los valores límite dinámicos. En caso de que la planificación de la trayectoria sea posible, se describen a continuación dos procedimientos posibles para establecer la sincronización. Además, se da un procedimiento sobre cómo tratar favorablemente el caso de que la planificación de la trayectoria no sea posible.

Para las explicaciones posteriores, se da por supuesto lo siguiente (o las propiedades del sistema de control CNC que deben crearse en primer lugar): de acuerdo con la invención, a un lugar geométrico específico de la trayectoria, se le asigna una posición angular del cabezal deseada en dicho lugar. En algunas realizaciones de la invención, esto se lleva a cabo añadiendo un punto de interpolación de bloque NC adicional (posiblemente redundante con respecto a la descripción pura de la trayectoria) al programa de pieza en el programa CNC. Este es un ejemplo de una (de las muchas concebibles) extensiones de sintaxis de un programa NC conforme a DIN/ISO, que se inserta en la línea N40 con "G119 S77" y se explica allí como comentario:

N10 M03 S1000

N20 G00X-110 Y0 Z10

N30 G01 Z-1 F2000

N40 G01 X-100 G119 S77: en la posición X-100, el husillo tiene que estar a 77°

N50 G01 X+100

La extensión de sintaxis proporciona un comando G119, que espera un parámetro S con la especificación de una posición angular del cabezal relativa a un punto cero (posición de fase).

El resultado es una "cuasi sincronización de engranajes" entre la integral de la longitud de la trayectoria y la posición angular del husillo de fresado con un avance y una velocidad de husillo constantes. En la práctica, es probable que este requisito se garantice mejor mediante el funcionamiento controlado por posición del husillo de fresado.

En la condición límite de que se respeten los límites de las tres derivadas de la trayectoria con respecto al tiempo ( $v_{max}$ ,  $a_{max}$ ,  $j_{max}$ ) para todos los ejes de avance y el husillo de fresado, existe un período de tiempo mínimo necesario (y, por lo tanto, también una trayectoria mínima en la trayectoria de fresado) para cada estado de movimiento de los ejes de avance y el husillo de fresado que se requiere para alcanzar un punto de sincronización. A la inversa, esto significa que no es físicamente posible alcanzar una sincronización deseada en un tiempo o distancia cortos. Por lo tanto, el proceso que se va a describir también debe explicar lo que ocurre en tales casos.

A diferencia de los ejes de avance lineal, la posición acumulada del husillo de fresado desde el inicio de su movimiento no es de interés para la tarea que se está realizando. En su lugar, solo interesan las posiciones de bobinado dentro del intervalo módulo 0...3600. Esto significa que la compensación de fase máxima necesaria para que el husillo de fresado alcance el objetivo de sincronización es:

$$A\varphi_{max} = +/- 180^\circ / ind. \text{ fillos}$$

Otra particularidad para el funcionamiento controlado por posición de husillos con especificación de consigna en el intervalo de módulos es que cada posición de consigna puede alcanzarse de dos formas (rotación hacia delante o hacia atrás). Si se conoce la información sobre el sentido de rotación, la especificación de posición funciona hasta  $360^\circ/TA$ . Es decir, con un ciclo de interpolación de 1 ms hasta 60.000 rpm de velocidad del cabezal.

Si es posible planificar la trayectoria, se pueden utilizar dos procedimientos.

En un primer procedimiento, la compensación de fases la realiza el husillo. La definición de punto de sincronización

significa que los puntos de sincronización solo pueden situarse en lugares geométricos de la trayectoria (parámetros de trayectoria) en los que se alcance un avance constante. De acuerdo con la definición del problema de levas explicada con anterioridad, dichos puntos de sincronización pueden situarse exactamente en un límite de bloque si la distancia de frenado o aceleración en la trayectoria es suficiente para cumplir la condición  $ab = 0$  además de  $vb = vprog$  a la entrada del bloque y si esta distancia de frenado o aceleración o su duración también es suficiente para producir la compensación de fase necesaria del husillo.

Uno de estos casos se muestra en la siguiente ilustración:

.....N10 M03 S1000:

:

10 N30 G00 X5 Y0 Z-5 F2000

N40 G00 X10 Y10 Z-1

N50 G00 X15 Y5

N60 G01 X85

N70 G01 X100 Y90 Z-2 F1500 G119 S77; sincronizar husillo a 77°

15 N80 G01 X150

Al igual que antes, las distintas líneas de programa se denominan N10, N20, y así sucesivamente. Además de la trayectoria a X=100, Y=90 en una posición de profundidad Z=-2 y un avance de 2000, la línea de programa N70 contiene la información de que el husillo debe adoptar allí un ángulo de 77°.

20 El área creada en la Figura 5 es la integral velocidad-tiempo, que corresponde a la corrección de fase necesaria de la posición del cabezal. Los respectivos límites de segmento de los perfiles de velocidad están marcados con un círculo. En este caso, el proceso se optimiza en tiempo sin influir en la planificación del avance y sin ninguna influencia negativa en el tiempo total de mecanizado del programa de pieza. Proceder del siguiente modo para calcular el proceso de sincronización: Después de encontrar una (nueva) frase NC con condición de orientación para el husillo en el búfer de espera, se vuelve a calcular el perfil de velocidad del husillo además del perfil de velocidad de la trayectoria, de manera similar a cuando llega una nueva frase NC "normal".

25 Dado que el proceso de anticipación se ejecuta en tiempo real con la generación del perfil de velocidad en el interpolador, se conoce el valor de la posición diana emitido al cabezal en el último ciclo, así como el parámetro exacto de la trayectoria y, por lo tanto, también la duración (en distancia y tiempo de recorrido de la trayectoria) hasta que se alcanza el punto de sincronización. Esto permite calcular la posición angular del husillo en el punto de sincronización si el husillo continuara moviéndose sin corregir la velocidad del husillo. La cantidad necesaria de compensación de fase es entonces la diferencia entre estas dos posiciones angulares en el circuito de módulo. En el caso de herramientas de varios filos, la compensación de fase necesaria también puede reducirse, por supuesto, a las posiciones angulares 360°/ind. filos. Conociendo los valores límite dinámicos del husillo, se puede calcular entonces un perfil de velocidad del husillo que establezca el punto de sincronización exactamente en el límite de bloque. Si el avance de la trayectoria (como en nuestro ejemplo) no es constante durante la corrección de fase del husillo, es importante que el proceso de sincronización del husillo finalice exactamente en el límite de bloque.

En una segunda realización del procedimiento según la invención, la ecualización de fase se consigue reduciendo el nivel de alimentación durante un período de tiempo limitado, véase la Figura 6.

40 El procedimiento para reducir temporalmente el nivel de avance del perfil de velocidad es especialmente eficaz para husillos de alta velocidad. La altura y la duración necesarias de la reducción del avance son reducidas, ya que el husillo adopta prácticamente cualquier posición angular en el intervalo de milisegundos sin variar la velocidad del husillo. El proceso de sincronización se calcula del siguiente modo: En primer lugar se determina la cantidad de corrección de fase necesaria como en el procedimiento mencionado con anterioridad. Después de calcular la corrección de fase requerida hasta el punto de sincronización, se calcula un trozo modificado del perfil de velocidad hacia el punto de sincronización de tal manera que la sección de movimiento requiera exactamente tanto tiempo adicional (en comparación con la planificación original) como el husillo necesite para barrer la corrección de fase requerida.

45 La planificación de la trayectoria es siempre imposible si la distancia o el tiempo no son suficientes para encontrar una trayectoria. En tal caso, el procedimiento según la invención prevé determinar un punto de sincronización aguas abajo que se encuentre a una cierta distancia ... d del punto de sincronización programado (aguas abajo) en la trayectoria. La distancia seleccionada ... d es un múltiplo entero del avance de diente programado, que se conoce a través de la palabra S y F. La palabra S controla la velocidad del husillo, la palabra F, la velocidad de avance. Esto significa que la sincronización de las operaciones de corte de la herramienta se retrasa, pero sigue definida a un lugar geométrico programado en el programa NC. Con un búfer de previsión bien lleno y bloques NC con condiciones de sincronización

que no se sucedan demasiado, este caso no debería darse nunca o casi nunca en la práctica. La forma más fácil de "provocarlo" es con frases NC con condiciones de sincronización demasiado próximas entre sí. Este caso se muestra como ejemplo en la siguiente ilustración: Con un nivel de avance programado, no es posible modificar la orientación del cabezal en 64° dentro de la distancia de X 0,1 mm manteniendo los valores límite dinámicos, véase la Figura 7;

- 5 ..... N10 M03 S1000:  
 N30 G00 X5 Y0 Z-5 F2000  
 N40 G00 X10 Y10 Z-1  
 N50 G00 X15 Y5  
 N60 G01 X85
- 10 N70 G01 X100 Y90 Z-2 F1500 G119 S77; sincronizar husillo a 77°.  
 N80 G01 X100,1 Y90 Z-2 G119 S13; sincronizar husillo a 13°.  
 N90 G01 X150

Símbolos de la fórmula:

- |    |           |   |
|----|-----------|---|
|    | s         | ubicación, posición, trayectoria                |
| 15 | v         | velocidad                                       |
|    | a         | aceleración                                     |
|    | j         | sacudida  |
|    | $\varphi$ | posición angular                                |
|    | n         | velocidad de rotación                           |
| 20 | TA        | duración del ciclo de interpolación (ciclo IPO) |

*Índices*

- b* *trayectoria, valores que se refieren a la trayectoria NC*
- Spdl* *cabezal, valores que se refieren a la trayectoria*
- prog* *(en el programa NC) valor programado*

**REIVINDICACIONES**

- 5 1. Procedimiento para mecanizar una pieza de trabajo con una herramienta de fresado que está dispuesta en un husillo giratorio, en donde el husillo se desplaza con respecto a la pieza de trabajo o la pieza de trabajo se desplaza con respecto al husillo a lo largo de una trayectoria de mecanizado y el husillo gira alrededor de un eje de husillo, en donde se controla una velocidad de rotación y/o una posición de fase de la rotación del husillo a lo largo de la trayectoria de mecanizado, caracterizado porque la trayectoria de mecanizado comprende trayectorias paralelas en forma de línea y la posición de fase del husillo a lo largo de la trayectoria de mecanizado es sustancialmente la misma en trayectorias adyacentes, controlándose la posición de fase por variación de la velocidad de rotación del husillo y/o la velocidad de avance del husillo con respecto a la pieza de trabajo a lo largo de la trayectoria de mecanizado.
- 10 2. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1, caracterizado porque la velocidad de rotación y/o la posición de fase a lo largo de la trayectoria de mecanizado se controla a un punto de consigna predeterminado en al menos un punto síncrono.
- 15 3. Procedimiento de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado porque la velocidad de rotación y/o la posición de fase a lo largo de la trayectoria de mecanizado se controla en una pluralidad de puntos síncronos a un punto de consigna predeterminado en cada caso.
- 20 4. Procedimiento de acuerdo con las reivindicaciones 2 o 3, caracterizado porque el control de la velocidad de rotación y de la posición de fase hacia el punto de consigna se inicia antes de que se alcance un punto síncrono en un punto de activación.
- 25 5. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la posición de fase se controla disminuyendo o aumentando la velocidad del husillo.
- 30 6. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la posición de fase se controla reduciendo o aumentando la velocidad de avance del husillo con respecto a la pieza de trabajo a lo largo de la trayectoria de mecanizado.
- 35 7. Procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque la posición de fase de una herramienta de fresado con varios filos de corte se desplaza un múltiplo del paso de los filos de corte.
8. Dispositivo para llevar a cabo un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque comprende medios para desplazar una pieza de trabajo con respecto a una herramienta de fresado dispuesta sobre un husillo y medios para controlar la velocidad y la fase de rotación del husillo.
9. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8, caracterizado porque el husillo es accionado por un motor eléctrico de posición controlada.
10. Dispositivo de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, caracterizado porque comprende medios para determinar la posición angular del husillo.
11. Programa informático para ejecutar un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.
12. Estructura de datos para codificar un programa informático para ejecutar un procedimiento de acuerdo con cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7.

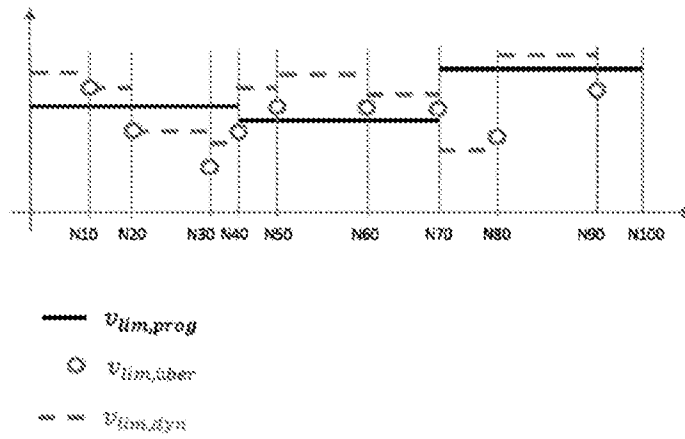


Fig. 1

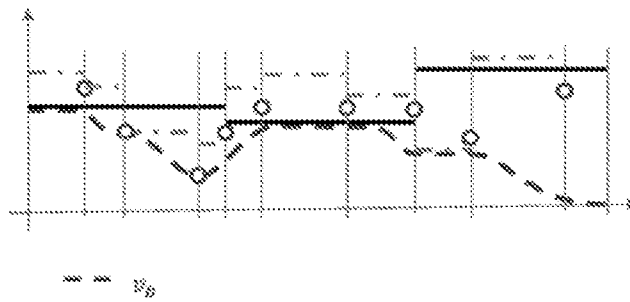


Fig. 2

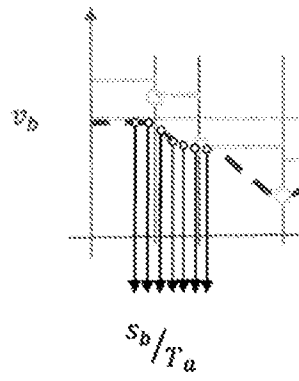


Fig. 3

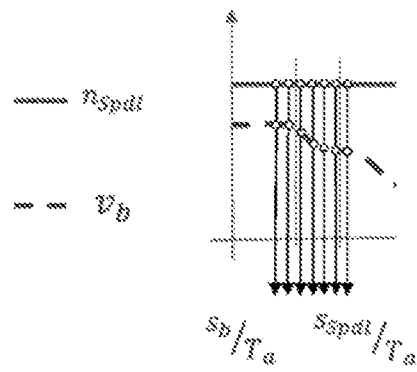


Fig. 4

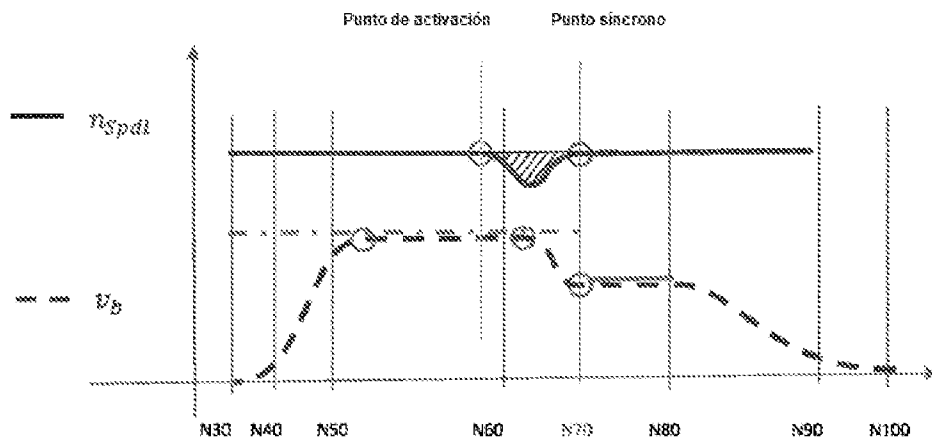


Fig. 5

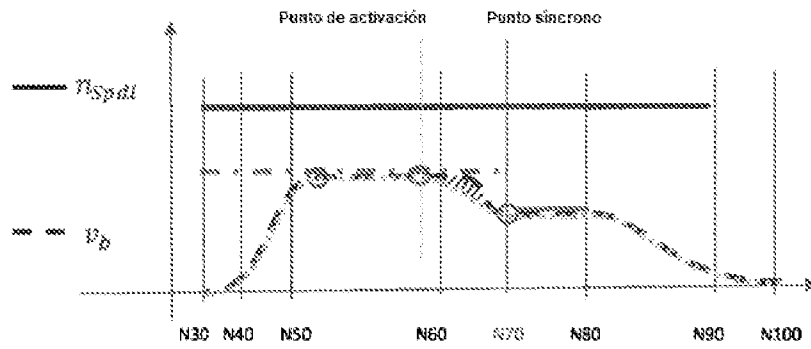


Fig. 6

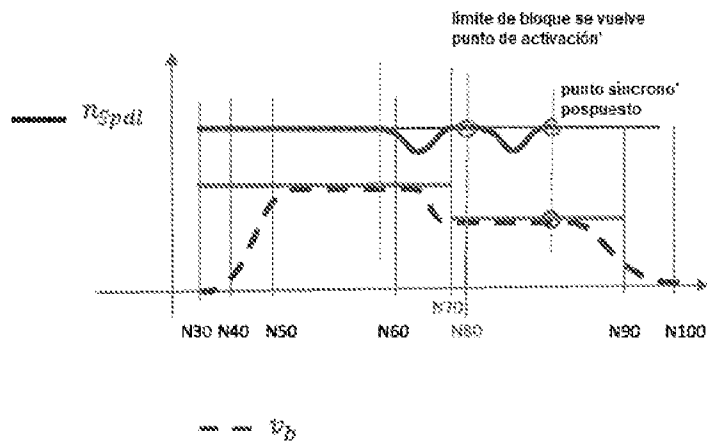


Fig. 7

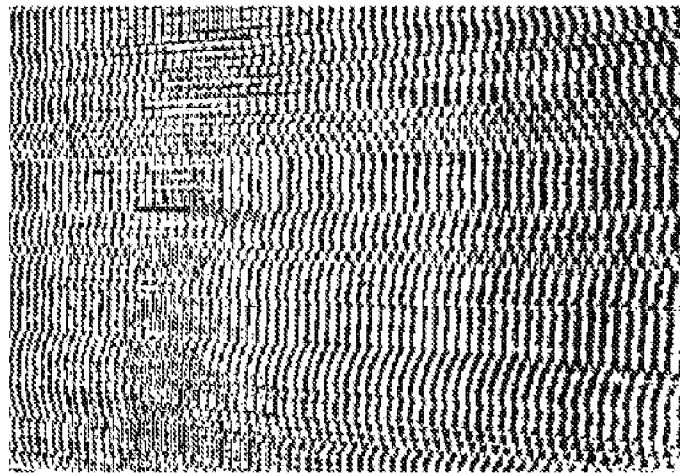


Fig. 8