

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 386 193**

51 Int. Cl.:
G05B 19/4069 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 96 Número de solicitud europea: **09740378 .6**
96 Fecha de presentación: **24.07.2009**
97 Número de publicación de la solicitud: **2329328**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **08.06.2011**

54 Título: **Procedimiento de determinación de las condiciones de una fase de mecanizado de una pieza con modulación de la velocidad de corte**

30 Prioridad:
25.07.2008 FR 0855123

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
13.08.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
13.08.2012

73 Titular/es:
Snecma
2 Boulevard du Général Martial Valin
75015 Paris, FR

72 Inventor/es:
COFFIGNAL, Gérard;
LORONG, Philippe y
PEREZ-DUARTE, Alexis

74 Agente/Representante:
de Elzaburu Márquez, Alberto

ES 2 386 193 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 determinación de las condiciones de una fase de mecanizado de una pieza con modulación de la velocidad de corte

5 El invento se refiere generalmente a la determinación de las condiciones de mecanizado de una pieza susceptible de entrar en vibración durante dicho mecanizado. Tiene como objeto determinar las condiciones de corte y especialmente la velocidad de corte para evitar la aparición de estas vibraciones.

Ciertas piezas de grandes dimensiones como por ejemplo los discos de rotor de turbomotor tienen una forma de campana con una pared muy delgada que tiene la tendencia de entrar en vibración durante el mecanizado.

10 Existen unos útiles de simulación de las vibraciones durante el mecanizado que permiten en ciertos casos adelantarse a estos problemas de vibración durante el torneado o el fresado de tales piezas. No obstante, estos útiles de simulación están generalmente fundados sobre un enfoque de frecuencias que no permite estudiar más que los sistemas cuya velocidad de rotación es constante. Ahora bien, es interesante, para evitar la entrada en resonancia de tal pieza, hacer variar periódicamente la velocidad de rotación (en torneado o en fresado) a fin de impedir la entrada en resonancia del sistema y, por lo tanto, la aparición de dichas vibraciones. Tal función de modulación de la velocidad de corte se caracteriza por dos parámetros: la amplitud de variación de la velocidad y el período de esta variación.

15 Sin embargo, para cada fase de mecanizado, queda determinar la función de modulación correcta. Hasta ahora se ha procedido de forma empírica. Esto implica, en el momento de la elaboración de la gama de mecanizado de cada pieza, hacer numerosos ensayos, lo que se traduce en una pérdida de tiempo importante y en tener que desechar numerosas piezas de aleación costosas.

20 El invento permite resolver este problema al proponer simulaciones sucesivas de la fase de mecanizado que permiten optimizar los parámetros de la función de modulación.

25 Más específicamente, el invento se refiere a un procedimiento de determinación de las condiciones de una fase de mecanizado de una pieza con modulación de una velocidad de corte entre dicha pieza y un útil, caracterizado porque se simula dicha fase de mecanizado al fijar provisionalmente los parámetros de una función de modulación de dicha velocidad, porque se deduce mediante cálculo el estado de la superficie correspondiente de la pieza, tras la terminación de dicha fase de mecanizado, porque se modifican iterativamente dichos parámetros de la función de modulación al simular cada vez dicha fase de mecanizado para deducir el estado de la superficie correspondiente hasta que alcance un valor admisible, y porque se procede a dicha fase de mecanizado haciendo variar la velocidad de corte según la función de modulación correspondiente al estado de la superficie de valor admisible.

30 Se comprenderá mejor el invento y otras características aparecerán más claramente a la luz de la descripción que sigue de un ejemplo del procedimiento de determinación de las condiciones de la fase de mecanizado de una pieza con modulación de la velocidad de corte entre la pieza y el útil, dado únicamente a título de ejemplo y realizado con referencia al dibujo anejo, en el que la figura única es un esquema de bloques con un organigrama del proceso iterativo de determinación de estos parámetros, que permiten dirigir un mecanizado.

35 La figura describe la simulación del mecanizado. Se considera que un paso de mecanizado debe realizarse en un tiempo dado T . Sea Δt un intervalo de tiempo de este tiempo dado T . Cuanto más pequeño se elija Δt más numerosos serán los cálculos, pero permitirán describir con precisión los fenómenos y las características geométricas de la pieza, comprendido su estado de la superficie en la salida del paso de mecanizado. Este paso de mecanizado es una fase de mecanizado en la que el útil queda encajado de forma permanente en el material de la pieza.

40 Por otra parte, se dispone de un cierto número de modelos que permiten representar en forma informática las piezas y conjuntos que constituyen el sistema y describir las interacciones entre las diferentes piezas y conjuntos entre sí. La mayor parte de los modelos que describen el comportamiento mecánico de las piezas y conjuntos se elaboran según la técnica denominada de los elementos finitos. La pieza o el conjunto están representados por un conjunto de elementos que forman una malla. A cada nudo de esta malla se asocian unos valores que representan los fenómenos que hay que describir. Por ejemplo, para la simple representación de una pieza supuesta rígida las coordenadas de los nudos son suficientes para constituir el modelo. Si la parte descrita por el modelo es susceptible de evolucionar (deformación, movimiento) son necesarios unos grados de libertad suplementarios para las transformaciones del modelo. Se añaden, por ejemplo, tres grados de libertad en rotación y tres grados de libertad en traslación.

45 Los modelos que describen las interacciones entre las diferentes piezas y elementos entre sí pueden ser de varios tipos: función de transferencia, modelo descriptivo, ecuación...

50 Según el invento se distinguen los modelos siguientes:

- Gp es el modelo geométrico inicial de la zona de la pieza objeto de mecanizado.

5 - Go es el modelo geométrico de las partes activas del útil. Go puede ser constante aunque sea posible considerar y describir una variación lenta de este modelo para tener en cuenta, por ejemplo, el desgaste del útil. De una forma más precisa, este modelo geométrico es de hecho un conjunto de modelos que describen los diferentes útiles elementales (dientes, insertos, plaquetas,...). El modelo geométrico es superficial. Representa las partes activas del útil, sobre todo las caras de corte.

Si las partes activas del útil son susceptibles de deformarse el modelo geométrico podrá admitir las deformaciones de estas partes activas a lo largo del tiempo y en función del ajuste entre el útil y la pieza.

10 - Fc es un modelo de fuerza de corte (ley de corte local) que resulta de la interacción entre el útil y la pieza. Por ejemplo, se puede recurrir a una ley de corte del tipo Kienzle conocida por el experto en la técnica que permite determinar localmente los esfuerzos de corte instantáneos en función de la sección de material eliminada (espesor y ancho del corte, es decir la dimensión de la viruta) y de la cinemática útil-pieza. Los esfuerzos de corte instantáneos son los esfuerzos aplicados por el útil sobre la pieza, y recíprocamente en los puntos seleccionados para describir de forma precisa la interacción entre el útil y la pieza.

15 - Dpom es un modelo dinámico del sistema pieza-útil-máquina. Este modelo Dpom es típicamente un modelo de elementos finitos que permite describir el comportamiento dinámico de este sistema durante el mecanizado. El modelo dinámico Dpom integra unos parámetros M, C, K en forma de matrices y una matriz columna q, que se describirán más adelante.

20 A continuación se describe la simulación del mecanizado con referencia a la figura, en la que los diferentes modelos que acaban de ser definidos y que intervienen en el proceso están representados en el margen del organigrama que ilustra el algoritmo 10 de determinación de una función de modulación de la velocidad de corte.

25 El instante $t = 0$ es el comienzo de una fase de simulación de mecanizado considerada. Para cada $t = t + \Delta t$ se puede definir el avance del útil con respecto a la pieza (bloque 12). Este avance varía a lo largo del tiempo ya que depende de la función de modulación de la velocidad de corte. Por ejemplo, esta velocidad de corte puede expresarse:

$$\Omega(t) = \Omega_N + \Delta\Omega \cdot F\omega(t)$$

$$\text{con } -1 < F\omega(t) < 1$$

Siendo $F\omega(t)$ una función periódica $2\pi/\omega$, siendo Ω_N una velocidad nominal y $\Delta\Omega$ una amplitud de la variación con respecto a dicha velocidad nominal.

30 Ventajosamente, $F\omega(t)$ es una senoide.

Se buscan los parámetros de esta función de modulación que permiten obtener un estado de la superficie satisfactorio, es decir una "rugosidad" o una "ondulación" inferior a un valor prescrito.

35 A partir de esta descripción 12 del avance útil/pieza y de los modelos Gp y Go es posible describir (bloque 13) la interacción (la intersección) entre la pieza y el útil. El resultado de esta interacción y el modelo Fc permiten describir los esfuerzos locales $F_{\text{corte}}(t)$ (bloque 14).

Con la ayuda del modelo dinámico Dpom y de los esfuerzos locales $F_{\text{corte}}(t)$ se puede establecer y resolver un sistema de ecuaciones diferenciales (bloque 15)

$$M \ddot{q} + C \dot{q} + kq = Q_c + Q_b$$

en donde:

40 - $q(t)$ es la matriz columna de un conjunto de parámetros $q_i(t)$

- $\dot{q}(t)$ son las derivadas primeras de $q(t)$

- $\ddot{q}(t)$ son las derivadas segundas de $q(t)$

- $Q_c(t)$ representa los esfuerzos generalizados que provienen de la interacción útil-pieza. Se deducen de los esfuerzos locales $F_{\text{corte}}(t)$ obtenidos mediante el modelo de corte.

- $Q_b(t)$ representa los esfuerzos generalizados distintos de Q_c . Fundamentalmente se trata de esfuerzos de embridado.
- $M(t, \Omega)$ es la matriz de masa.
- $C(t, \Omega)$ es la matriz de amortiguación
- 5 - $K(t, \Omega)$ es la matriz de rigidez.

Las matrices M , C y K pueden evolucionar (lentamente) durante el mecanizado para explicar las pérdidas de masa y de rigidez como consecuencia de la pérdida de material. Estas matrices pueden también incluir un efecto giroscópico que es función de Ω .

10 Para cada incremento de tiempo $\Delta(t)$ predeterminado se resuelve el sistema de ecuaciones diferenciales. Así, conociendo $q(t)$ para t perteneciendo al intervalo $[0, T]$ se puede obtener $q(t+\Delta t)$ en tanto que la acumulación de los intervalos Δt sea inferior a T , es decir en tanto que la fase de mecanizado considerada no se haya terminado. A cada incremento se aplica un algoritmo de pérdida de material 16. El objeto de este algoritmo de pérdida de material es, en cada incremento de tiempo, simular la pérdida de material, es decir actualizar el modelo G_p .

15 Cuando la totalidad de la fase de mecanizado ha sido simulada en un tiempo (T), se compara el estado de G_p con una referencia G_{pr} (prueba 17) para poder sobre todo estar en condiciones de evaluar el estado de la superficie de la pieza a la salida de la fase de mecanizado, típicamente un paso del útil.

20 Si el estado de la superficie de G_p es satisfactorio, es decir al menos igual al de G_{pr} , se conservan los parámetros de la función de modulación (bloque 18) que ha permitido conseguir este resultado. Se utilizarán posteriormente estos parámetros $\Delta\Omega$ y ω para hacer variar la velocidad de rotación (del mandril en el caso de un torneado) según esta función de modulación durante el mecanizado real de duración T .

Si el estado de la superficie no es satisfactorio se cambian los parámetros de la función de modulación (bloque 19) para modificar las características del avance útil/pieza y se vuelve a la simulación de la fase de mecanizado tantas veces como sea necesario para obtener un modelo G_p actualizado que tenga un estado satisfactorio de la superficie.

25 Se debe tener en cuenta que algoritmos que adoptan unas etapas como las descritas antes ya han sido publicados. Las referencias de estas publicaciones son las siguientes:

Tesis:

Kaled Dekelbab, 1995, "Modelización y simulación del comportamiento dinámico del conjunto Pieza-Útil-Máquina en mecanizado mediante un útil de corte", École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers – CER de Paris.

30 Erwan Beauchesne, 1999, "Modelización y simulación dinámica del mecanizado considerando una pieza deformable", École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers – CER de Paris.

Audrey Marty, 2003, "Simulación digital del mecanizado por un útil de corte a escala macroscópica: contribución a la definición geométrica de la superficie mecanizada", École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - CER de Paris.

35 Stéphanie Cohen-Assouline, 2005, "Simulación digital del mecanizado a escala macroscópica: consideración de una pieza deformable", École Nationale Supérieure d'Arts et Métiers - CER de Paris.

Artículos en revistas:

S Assouline, E. Beauchesne, G. Coffignal, P. Lorong y A. Marty, 2002, "Simulación digital del mecanizado a escala macroscópica: modelos dinámicos de la pieza", *Mécanique et Industrie*, Vol. 3, pp. 389-402.

40 P. Lorong, J. Yvonnet, G. Coffignal y S. Cohen, 2006, "Contribution of Computational Mechanics in Numerical Simulation of Machining and Blanking", *Archives of Computational Method in Engineering*, Vol. 13, pp. 45-90.

Un algoritmo actualmente preferido es operativo en el soporte lógico de nombre Nussy. Nussy ha sido descrito más específicamente en los artículos siguientes:

45 P. Lorong, F. Ali y G. Coffignal, 2000, "Research oriented software development platform for structural mechanics: a solution for distributed computing", *Second International Conference on Engineering Computational Technology, Developments in Engineering computational technology*, ed. B.H.V. Topping Louvain, Bélgica, pp. 93-100.

G. Coffignal y P. Lorong, 2003, "Un soporte lógico de elementos finitos para desarrollar y capitalizar trabajos de investigación", 6º Coloquio Nacional de Cálculo de Estructuras, Giens.

5 El procedimiento del invento es más específicamente útil para el torneado de piezas de gran diámetro tales como los discos de rotor de turbina o de compresor para un turborreactor. Estas piezas son susceptibles de entrar en vibración durante el mecanizado por efecto del esfuerzo de corte. La determinación previa de una función de modulación óptima de la velocidad de rotación pieza-útil a lo largo del mecanizado permite impedir la aparición de estos modos vibratorios y por tanto obtener el estado de la superficie deseado.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Procedimiento de determinación de las condiciones de una fase de mecanizado de una pieza con la modulación de una velocidad de corte entre dicha pieza y el útil, caracterizado porque se simula (10) dicha fase de mecanizado fijando provisionalmente los parámetros de una función de modulación de dicha velocidad, porque se deduce por cálculo el estado de la superficie correspondiente de la pieza, tras la terminación de dicha fase de mecanizado, porque se modifican iterativamente (19) dichos parámetros de la función de modulación simulando cada vez dicha fase de mecanizado para deducir de ella el estado de la superficie correspondiente hasta que alcance un valor admisible, y porque se procede a dicha fase de mecanizado haciendo variar la velocidad de corte ($\Omega(t)$) según la función de modulación correspondiente al estado de la superficie de valor admisible.
- 10 2. Procedimiento según la reivindicación 1, caracterizado porque la función de modulación es del tipo:
- $$\Omega(t) = \Omega_N + \Delta\Omega \cdot F\omega(t)$$
- con $-1 \leq F\omega(t) < 1$
- Siendo $F\omega(t)$ una función periódica de período $2\pi/\omega$, Ω_N una velocidad nominal y $\Delta\Omega$ una amplitud de variación con respecto a de dicha velocidad nominal.
- 15 3. Procedimiento según la reivindicación 2, caracterizado porque dicha función periódica es sinusoidal.
4. Procedimiento según una de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque el mecanizado antes citado es una operación de torneado.

