

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 677 715**

51 Int. Cl.:

**G05B 19/4093** (2006.01)

**B23Q 15/18** (2006.01)

**B23C 1/00** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **08.01.2015 PCT/JP2015/050405**

87 Fecha y número de publicación internacional: **16.07.2015 WO15105159**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **08.01.2015 E 15734812 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **04.07.2018 EP 3093090**

54 Título: **Método para el diseño de condiciones de corte para el corte**

30 Prioridad:

**08.01.2014 JP 2014001644**

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

**06.08.2018**

73 Titular/es:

**KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBESTEEL, LTD.) (100.0%)  
2-4, Wakinohama-Kaigandori 2-chome, Chuo-ku  
Kobe-shi, Hyogo 651-8585, JP**

72 Inventor/es:

**AKAZAWA KOICHI;  
ASAI SHINSUKE y  
SAKAMOTO YUSUKE**

74 Agente/Representante:

**UNGRÍA LÓPEZ, Javier**

ES 2 677 715 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**

Método para el diseño de condiciones de corte para el corte

**5 Campo técnico**

La presente invención se refiere a un método para el diseño de condiciones de corte para el corte.

**Antecedentes de la invención**

10 En los antecedentes de la técnica, cuando se realizan cortes tales como torneado o fresado en una pieza de trabajo tal como un material de acero usando una herramienta de corte tal como una fresa de extremo o una fresadora, el corte se ha realizado después de las "condiciones de corte" tales como una velocidad de alimentación de la herramienta de corte, una cantidad de corte por la herramienta de corte, una velocidad de corte de la herramienta de corte, la forma de la herramienta de corte, etc. son adecuadas.

15 Cuando el corte se realiza utilizando una fresa de extremo o una fresadora, puede producirse una vibración de traqueteo durante el corte dependiendo de la forma de una herramienta de corte, o la forma de la herramienta de corte puede deformarse. Cuando se produce tal vibración de traqueteo, ocurre un problema grave en cuanto a la precisión del mecanizado o la propiedad de la superficie mecanizada de una pieza de trabajo. Por lo tanto, un operario que diseña las condiciones de corte para el corte debe establecer las "condiciones de corte" para reducir la velocidad de alimentación o la cantidad de corte por la herramienta de corte para reducir de este modo una carga a fin de evitar que ocurra el problema mencionado anteriormente.

20 Además, en cuanto a la vida útil de una herramienta de corte, surge el problema de que la vida útil de la herramienta se vuelve extremadamente corta cuando el corte no se realiza en las condiciones de corte apropiadas. Sin embargo, es difícil encontrar con precisión las condiciones de corte con las que se puede alargar la vida útil de la herramienta, y por lo tanto las condiciones de corte (particularmente la velocidad de corte de la herramienta de corte) se diseñan con un margen en muchos casos.

30 Sin embargo, las condiciones de corte provistas, de este modo, con un margen pueden conducir a un costo en exceso para el corte. Por ejemplo, existe el problema de que una herramienta de corte puede ser reemplazada antes de alcanzar su vida útil, o el tiempo de corte puede aumentar debido a las condiciones de corte de baja carga.

35 Para mejorar tal situación, se han desarrollado técnicas para el diseño de condiciones de corte óptimas. Las técnicas para el diseño de condiciones de corte óptimas son, por ejemplo, las divulgadas en la Literatura no patente 1 y Literatura no patente 2.

40 Según la Literatura no patente 1, de manera no lineal, se mide la forma de una pieza de trabajo que se ha sometido a corte, y las condiciones de corte se optimizan basándose en el valor medido y un valor de instrucción dado de antemano para el corte. A continuación, de manera virtual, se realiza una prueba de vida útil de la herramienta en una herramienta de corte, y la vida útil de la herramienta y la eficiencia de mecanizado se convierten en pérdidas mediante una función de pérdida y se evalúan en la misma dimensión. Después, las condiciones de corte apropiadas se diseñan a partir de la relación entre la vida útil de la herramienta y la eficiencia del mecanizado.

45 Según la Literatura no patente 2, se establece una formulación para optimizar las condiciones de corte en el corte mediante programación de objetivos no lineales, y se diseñan condiciones de corte adecuadas basadas en la formulación.

50 Además, se conoce un método de diseño de condiciones de corte según el preámbulo de la reivindicación 1 a partir del documento EP 2 540 442 A1.

**Lista de citas**

55 Literatura de patentes

Literatura no patente 1: Takeshi WAGO, Masaaki WAKATUKI, et al., "Select Way of Milling Cutting Condition for Hardened Steel", Iwate Industrial Research Institute Study Reports, vol. 6 (1999)

60 Literatura no patente 2: Katsundo HITOMI, Nobuto NAKAMURA, et al., "Application of Nonlinear Goal Programming to Multiobjective Optimization of Machining Conditions", Transacciones de la Sociedad Japonesa de Ingenieros Mecánicos, Serie C, vol. 46, N.º 409 (septiembre de 1980)

**Sumario de la invención**

**65 Problema que debe resolver la invención**

Cuando los operarios se comprometen a cortar las condiciones de corte del diseño según su experiencia, se

producen diferencias en las condiciones de corte debido a las diferencias entre las experiencias de corte de los operarios. Por lo tanto, es difícil diseñar las condiciones de corte de manera apropiada. Además, cuando un operario inexperto diseña condiciones de corte, el operario puede diseñar condiciones de corte con un margen demasiado grande, es decir, condiciones de corte altas en costos de fabricación debido a su falta de experiencia.

5 Con el fin de resolver el problema anterior, se supone en este caso que las condiciones de corte apropiadas se diseñan utilizando Literatura no patente 1 y Literatura no patente 2.

10 La literatura no patente 1 es una técnica para tratar estadísticamente datos de corte de piezas de trabajo que tienen una forma simple para optimizar las condiciones de corte y diseñar las condiciones de corte. Sin embargo, la forma de una pieza de trabajo que se va a cortar, de hecho, es a menudo complicada. Por lo tanto, es difícil aplicar la técnica a una etapa de corte real. Incluso cuando las condiciones de corte se diseñan utilizando Literatura no patente 1, es evidente que surge un problema en cuanto a la precisión de mecanizado del corte o la propiedad de la superficie mecanizada de la pieza de trabajo.

15 Por otro lado, la Literatura no patente 2 es una técnica para el diseño de condiciones de corte apropiadas mediante el uso de ingeniería de calidad (programación de objetivos no lineales). Sin embargo, no es realista porque requiere mucho trabajo y tiempo para obtener condiciones de corte debido a una gran cantidad de cálculos o una gran cantidad de elementos de condición para el diseño de las condiciones de corte.

20 En resumen, no es práctico diseñar condiciones de corte apropiadas en una etapa de corte real utilizando las técnicas de Literatura no patente 1 y Literatura no patente 2.

25 La presente invención se ha desarrollado teniendo en cuenta el problema mencionado anteriormente. Por lo tanto, uno de sus objetivos consiste en proporcionar un método para el diseño de condiciones de corte en el corte, capaz de hacer que la prevención de la vibración, la vida útil de la herramienta y la eficacia del corte en el corte sean compatibles entre sí, y capaz de diseñar fácilmente condiciones de corte.

30 **Medios para resolver el problema**

Según la presente invención, el objetivo anterior se resuelve mediante un método para diseñar condiciones de corte que tienen las características de la reivindicación 1.

35 En detalle, un método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención, que diseña condiciones de corte requeridas para cortar una pieza de trabajo con una herramienta de corte, usa, como parámetros de diseño, una velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte, una cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte, una cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte, y una velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte, e incluye: calcular una cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte usando, de los parámetros de diseño, la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  de la herramienta de corte; determinar si se produce o no una vibración de traqueteo en la herramienta de corte durante el corte en función de la cantidad de deflexión  $\alpha$  calculada de la herramienta de corte y un umbral  $\beta$  predeterminado; calcular un espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  por la herramienta de corte, que es un espesor de corte máximo permitido de la pieza de trabajo, desde la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte, cuando se determina que la "vibración de traqueteo" no ocurre en la herramienta de corte; calcular una temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte a partir del espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  calculado, y la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte; determinar si se cumple o no la vida útil de la herramienta de corte en el corte en función de la temperatura de corte  $t$  calculada de la herramienta de corte y un umbral  $\gamma$  predeterminado; calcular una eficacia de corte  $e$  de la herramienta de corte en el corte desde un valor máximo  $v_{max}$  de la velocidad de corte de la herramienta de corte permitida en el corte, la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte, y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte, cuando se cumple la vida útil de la herramienta de corte; y comparar la eficacia de corte  $e$  calculada de la herramienta de corte con datos de una eficacia de corte  $e$  almacenada previamente y cuando la eficacia de corte  $e$  calculada de la herramienta de corte es un valor máximo entre los datos de la eficacia de corte  $e$ , utilizando, como condiciones de corte, la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte, la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte, y la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte.

60 Según la invención, la cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = Fb_{ave}/G$$

$\alpha$ : cantidad de deflexión (m)

$Fb_{ave}$ : valor promedio (N) de la resistencia de corte en la dirección de vibración de la herramienta de corte

$G$ : rigidez a la flexión (N/m) en la dirección de vibración de la herramienta de corte

Preferentemente, los parámetros de diseño pueden incluir además un parámetro de una forma de la herramienta de corte.

5 Preferentemente, el espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  por la herramienta de corte se puede calcular mediante la siguiente expresión.

$$C_{t_{max}} = f \cdot \text{sen}\theta_1$$

- 10  $C_{t_{max}}$ : espesor de corte máximo (mm) por herramienta de corte  
 f: velocidad de alimentación (mm/hoja) de la herramienta de corte  
 $\theta_1 = \text{acos}((r-dr)/r)$   
 r: radio (mm) de la herramienta de corte  
 dr: cantidad de corte en dirección radial (mm) por herramienta de corte

15 **Ventaja de la invención**

Según el método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención, es posible prevenir la vibración, la vida útil de la herramienta y la eficacia del corte en una herramienta de corte compatible entre sí, y también es posible diseñar fácilmente condiciones de corte.

20 **Breve descripción de los dibujos**

- [Figura 1] La figura 1 es una vista esquemática que ilustra esquemáticamente el corte.  
 [Figura 2] La figura 2 es un diagrama de flujo que ilustra un método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención.  
 [Figura 3] La figura 3 es un gráfico que muestra la relación entre la cantidad de deflexión de una herramienta de corte y la presencia/ausencia de un fallo.  
 [Figura 4] La figura 4 es un gráfico que muestra un cambio en la temperatura de la herramienta y en la vida útil de la herramienta según un cambio en la velocidad de corte y en el espesor de corte máximo.

30 **Modo para llevar a cabo la invención**

A continuación, se describirá un método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención con referencia a los dibujos.

35 La figura 1 es una vista que ilustra esquemáticamente una situación en la que el corte se realiza en una pieza de trabajo 2 mediante el uso de una herramienta de corte 1 en condiciones de corte diseñadas mediante un método para el diseño de condiciones de corte según la presente invención. La figura 2 es un gráfico que ilustra un procedimiento del método para el diseño de condiciones de corte según la presente invención.

40 Como se ilustra en la figura 1, una etapa de corte tal como el fresado es una etapa en la que la pieza de trabajo 2 (tal como un material de acero) fijada a una mesa de una fresadora se mecaniza en una forma o dimensiones previstas mediante el uso de una herramienta de corte 1, que gira, como una fresa de extremo o una fresadora.

45 Lo que se requiere en tal etapa de corte es diseñar condiciones de corte adecuadas (una velocidad de alimentación v, y una cantidad de corte d mediante la herramienta de corte 1, etc.). Si las condiciones de corte no se diseñan adecuadamente, por ejemplo, puede producirse una "vibración de traqueteo" durante el corte debido a la deflexión de la herramienta de corte 1, causando un problema en cuanto a la precisión de mecanizado del corte o la propiedad de superficie mecanizada de la pieza de trabajo 2.

50 Por lo tanto, para descubrir un método para el diseño de condiciones de corte adecuadas, los presentes inventores repitieron estudios detallados, en los que el corte se ha realizado en diversas condiciones de corte utilizando herramientas de corte 1 que tienen diferentes formas para estudiar la presencia/ausencia de vibración de traqueteo durante el corte o propiedades de superficies mecanizadas. Un ejemplo de las condiciones experimentales proporcionadas para los estudios se muestra en la Tabla 1. Los resultados de los experimentos bajo las condiciones experimentales, es decir, la relación entre la cantidad de desviación de la herramienta de corte 1 y la presencia/ausencia de un fallo se muestra en la figura 3.

Tabla 1

Condiciones experimentales	
velocidad de corte v	100 m/min (1592 rpm)
velocidad de alimentación f	0,15 mm/hoja (716 mm/min)
herramienta de corte	ϕ 20 fresa de extremo (Sumitomo WEX)
número de hojas	1 o 3

Condiciones experimentales	
cantidad de protuberancia L/D	tres veces o cinco veces más larga que el diámetro de la herramienta
material de varilla	acero o carburo
Sumitomo WEX: WaveMill (marca registrada) Serie WEX fabricada por Sumitomo Electric Industries, Ltd. L/D: longitud de la protuberancia L/diámetro de la herramienta D	

5 Como resultado de los estudios, en cuanto a resistencia de corte que actúa sobre la herramienta de corte 1, se ha descubierto que la propiedad de superficie mecanizada o la precisión de mecanizado en el corte se deteriora cuando una resistencia de corte promedio  $F_{b_{ave}}$  excede un cierto valor límite superior, siendo  $F_{b_{ave}}$  un valor promedio de resistencia de corte en una dirección de vibración de la herramienta de corte 1 (una dirección radial en el caso de una herramienta de fresa de extremo).

10 Es decir, el valor límite superior del valor promedio  $F_{b_{ave}}$  de la resistencia de corte varía según la rigidez de flexión G en la dirección de vibración de la herramienta de corte 1. Por lo tanto, a medida que aumenta la rigidez de flexión G de la herramienta de corte 1, aumenta el valor límite superior del valor promedio  $F_{b_{ave}}$  de la resistencia de corte. El valor límite superior del valor promedio  $F_{b_{ave}}$  de la resistencia de corte está en proporción directa con la rigidez de flexión G. La relación entre el valor promedio  $F_{b_{ave}}$  de la resistencia de corte y la rigidez a la flexión G puede considerarse como una relación, es decir, una cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte 1. En este caso, se puede considerar que la propiedad de la superficie mecanizada o la precisión de mecanizado en el corte se deteriora cuando la cantidad de deflexión  $\alpha$  excede un cierto valor límite superior.

20 En consideración del hallazgo anterior, y con referencia a la figura 3, puede entenderse que existe un problema en la calidad del mecanizado cuando la cantidad de deflexión  $\alpha$  excede de 0,02 mm. Además, se puede entender que un fallo en la superficie mecanizada se produce fácilmente cuando la cantidad de deflexión  $\alpha$  excede de 0,015 mm.

Es decir, los presentes inventores han descubierto que se pueden diseñar condiciones de corte adecuadas cuando la cantidad de desviación  $\alpha$  de la herramienta de corte 1 se hace menor que 0,015 mm (se controla la cantidad de deflexión  $\alpha$ ).

25 Basándose en el hallazgo anterior, los presentes inventores llegaron a un método para el diseño de condiciones de corte.

30 En el método para el diseño de condiciones de corte según la presente realización, se calcula una cantidad de deflexión  $\alpha$  de una herramienta de corte 1 usando parámetros de diseño tales como una velocidad de alimentación f de la herramienta de corte 1, una cantidad de corte d por la herramienta de corte 1, etc., y se determina si se produce o no una "vibración de traqueteo" en la herramienta de corte 1 en función de la cantidad de deflexión  $\alpha$ . Además, en el método de diseño, se calcula una temperatura de corte t de la herramienta de corte 1 utilizando los parámetros de diseño, y se determina si la vida útil de la herramienta se cumple o no en función de la temperatura de corte t. Según el resultado de la determinación de la vida útil de la herramienta y el resultado de la determinación de la "vibración de traqueteo", se calcula la eficacia de corte e más eficiente. Los parámetros de diseño a los que pertenece el resultado del cálculo están diseñados como condiciones de corte.

40 Los parámetros de diseño usados en el método para el diseño de condiciones de corte según la presente realización incluyen la velocidad de alimentación f de la herramienta de corte 1, una cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte 1 y una cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte 1. Los parámetros de diseño no están limitados a los mismos, sino que se puede usar una velocidad de corte v de la herramienta de corte 1 o una forma de la herramienta de corte 1.

45 La figura 2 ilustra un diagrama de flujo que ilustra el método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención.

50 Como se ilustra en la figura 2, en el método de diseño de las condiciones de corte, primero se determina si la "vibración de traqueteo" se produce o no herramienta de corte 1. Antes de determinar la "vibración de traqueteo", en la Etapa 1 (S1), se establecen los parámetros de diseño, incluida la velocidad de alimentación f de la herramienta de corte 1, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte 1 y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte 1.

55 En esta ocasión, cuando se decide una de las velocidades de alimentación f de la herramienta de corte 1, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte 1 y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte 1 a partir de otras condiciones (por ejemplo, el rendimiento de la herramienta de corte y similares), se establece como un valor fijo. Además, se supone que los otros parámetros de diseño que no sea el valor fijo varían paso a paso.

Utilizando los parámetros de diseño establecidos de este modo, la cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte

# ES 2 677 715 T3

1 se calcula mediante la Expresión (1) en la Etapa 2.

$$\alpha = F_{b_{ave}} / G \quad (1)$$

5  $\alpha$ : cantidad de deflexión (m)

$F_{b_{ave}}$ : valor promedio (N) de la resistencia de corte en la dirección de vibración de la herramienta de corte

G: rigidez a la flexión (N/m) en la dirección de vibración de la herramienta de corte

Aquí, se describirá un método específico para calcular la cantidad de deflexión  $\alpha$  en la Expresión (1).

10 Para obtener el valor promedio  $F_{b_{ave}}$  de la resistencia de corte en la Etapa 2 (S2), se calcula primero un espesor de corte  $C_t$  mediante la herramienta de corte 1 mediante la Expresión (2).

$$C_t = f \cdot \sin\theta \quad (2)$$

15

$C_t$ : espesor de corte (mm) por herramienta de corte

f: velocidad de alimentación (mm/hoja) de la herramienta de corte

$\theta$ : ángulo de rotación de la herramienta de corte

20 Entonces, el espesor de corte  $C_t$  calculado se sustituye en la Expresión (3) para calcular un valor de resistencia de corte  $F_b$  en una dirección en la que vibra la herramienta de corte 1. Aquí, se determina con antelación una resistencia de corte  $K_r$  específica en la dirección de vibración (dirección radial) de la herramienta de corte 1 basándose en el material de la pieza de trabajo 2 y similares.

25

$$F_b = C_t \cdot d_a \cdot K_r \quad (3)$$

$F_b$ : resistencia de corte (N) en la dirección de vibración de la herramienta de corte

$C_t$ : espesor de corte (mm) por la herramienta de corte

$d_a$ : cantidad de corte en dirección axial (mm) por herramienta de corte

30  $K_r$ : resistencia de corte específica (N/mm<sup>2</sup>) en la dirección de vibración (dirección radial) de la herramienta de corte

Entonces, el valor de resistencia de corte  $F_b$  calculado en la dirección de vibración de la herramienta de corte 1 se sustituye en la Expresión (1) para calcular la cantidad de deflexión  $\alpha$ .

35

Realizando el cálculo mencionado anteriormente al cambiar la velocidad de alimentación f de la herramienta de corte 1, la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte 1 y la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  por la herramienta de corte 1 paso a paso, se obtiene una resistencia de corte  $F_{b_{ave}}$  promedio en la dirección de vibración de la herramienta de corte 1. Al usar la resistencia de corte  $F_{b_{ave}}$  promedio, se calcula la cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte 1. Cuando la cantidad de deflexión  $\alpha$  se calcula de este modo, pase a la Etapa 3 (S3).

40

En la Etapa 3 (S3), en función de la cantidad de deflexión  $\alpha$  calculada de la herramienta de corte 1 y un umbral  $\beta$  predeterminado, se determina si se produce o no una vibración de traqueteo en la herramienta de corte 1 durante el corte. Aquí, el umbral  $\beta$  predeterminado que sirve como un valor de referencia para la "vibración de traqueteo" de la herramienta de corte 1 se establece en 0,015 mm (cantidad de deflexión) obtenido a partir del resultado de la figura 3.

45

Cuando la cantidad de deflexión  $\alpha$  calculada es menor que el umbral  $\beta$  predeterminado que sirve como valor de referencia ( $\alpha < \beta = 0,015$  mm), se determina que la "vibración de traqueteo" no ocurre en la herramienta de corte 1. Cuando se determina que la "vibración de traqueteo" se produce en la herramienta de corte 1, los parámetros establecidos se consideran incompatibles y abandonados.

50

Cuando se determina que la "vibración de traqueteo" no ocurre en la herramienta de corte 1, pase a la Etapa 4 (S4).

55

En la Etapa 4 (S4), se calcula un espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  mediante la herramienta de corte 1, que es un espesor máximo de corte permitido de la pieza de trabajo 2, mediante la Expresión (4) basada en la velocidad de alimentación f de la herramienta de corte 1 y la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  por la herramienta de corte 1. Cuando el espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  se calcula de este modo, pase a la Etapa 5 (S5).

60

$$C_{t_{max}} = f \cdot \sin\theta_1 \quad (4)$$

$C_{t_{max}}$ : espesor de corte máximo (mm) por herramienta de corte

f: velocidad de alimentación (mm/hoja) de la herramienta de corte

$$\theta_1 = \arccos((r-dr)/r)$$

r: radio (mm) de la herramienta de corte

dr: cantidad de corte en dirección radial (mm) por herramienta de corte

5 En la Etapa 5 (S5), se calcula una temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 a partir del espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  calculado mediante la herramienta de corte 1, y la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte 1. La temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 se calcula al cambiar la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte 1 paso a paso en el espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  calculado por la herramienta de corte 1.

10 Aquí, se describirá el cálculo de la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 que caracteriza la presente invención.

15 La temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 durante el corte, es decir, la temperatura del borde de la hoja de la herramienta, tiene una gran influencia en la vida útil de la herramienta de corte 1 (el grado de desgaste de la herramienta de corte 1). Por lo tanto, se debe obtener previamente un valor máximo  $\gamma$  de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1, en la que puede obtenerse un tiempo de corte predeterminado (puede cumplirse la vida útil de la herramienta). Las condiciones de corte se diseñan usando el valor máximo obtenido  $\gamma$  de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1, y la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 durante el corte.

20 El método para calcular la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 consiste en calcular a partir del espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  mediante la herramienta de corte 1 y la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte 1 (en el caso de una fresa, el número de rotación de la herramienta). Los ejemplos de los mismos pueden incluir un método para medir realmente la temperatura de corte  $t$  durante el corte, y un método para obtenerlo mediante el corte de la simulación de temperatura tal como un método de elementos finitos.

25 En la presente realización, la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 se calcula usando una simulación de temperatura de corte tal como un método de elementos finitos, basado en el espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  por la herramienta de corte 1, y la velocidad de corte  $v$  de la herramienta de corte 1 cambiada paso a paso para corresponder al espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$ . La figura 4 muestra una distribución de la temperatura de corte  $t$  calculada.

30 Como se muestra en la figura 4, por ejemplo, cuando la velocidad de corte  $v$  es 200 m/min y el espesor de corte máximo  $C_{t_{max}}$  es de 0,2 mm, la temperatura de corte  $t$  se calcula en 625 °C (para decirlo de otra manera, la vida útil de la herramienta es de una hora). Cuando la temperatura de corte  $t$  se calcula de este modo, pase a la Etapa 6 (S6).

35 En la Etapa 6 (S6), entre todos los datos de cálculo (todas las combinaciones de condiciones) de la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1, se busca un valor máximo  $\gamma$  de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1 a partir de las condiciones en las que la eficacia de corte  $e$  se convierte en el máximo. Después, pase a la siguiente Etapa 6 (S6).

40 En la Etapa 7 (S7), se determina si la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 calculada basándose en la figura 4 es como máximo el umbral predeterminado  $\gamma$  (el valor máximo de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1) o no; en otras palabras, si se cumple o no la vida útil de la herramienta de corte 1 durante el corte.

45 Incidentalmente, cuando la temperatura de corte  $t$  calculada de la herramienta de corte 1 es mayor que el valor máximo  $\gamma$  de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1, es decir, cuando no se cumple la vida útil de la herramienta de corte 1, los parámetros establecidos se consideran como incompatibles y abandonados.

50 Cuando la temperatura de corte  $t$  calculada de la herramienta de corte 1 es igual o menor que el valor máximo  $\gamma$  de la temperatura de corte de la herramienta de corte 1, es decir, cuando se cumple la vida útil de la herramienta de corte 1, pase a la Etapa 8 (S8).

55 En la Etapa 8 (S8), la eficacia de corte  $e$  de la herramienta de corte 1 en el corte se calcula a partir de un valor máximo  $v_{max}$  de la velocidad de corte de la herramienta de corte 1 permitida en el corte, la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte 1, la cantidad de corte en dirección axial  $da$  por la herramienta de corte 1, y la cantidad de corte en dirección radial  $dr$  por la herramienta de corte 1. Cuando la eficacia de corte  $e$  se calcula de este modo, pase a la Etapa 9 (S9).

60 En la Etapa 9 (S9), la eficacia de corte  $e$  calculada de la herramienta de corte 1 se compara con datos de eficacia de corte  $e$  almacenados previamente. Cuando la eficacia de corte  $e$  calculada de la herramienta de corte 1 es un valor máximo entre los datos de la eficacia de corte  $e$ , la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de corte 1, la cantidad de corte en dirección axial  $da$  por la herramienta de corte 1 y la cantidad de corte de la dirección radial  $dr$  por la herramienta de corte 1 se usa como las condiciones de corte.

65 Por lo tanto, se puede obtener una combinación de parámetros de diseño (la velocidad de alimentación  $f$ , la cantidad

de corte en dirección radial  $d_r$  y la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$ ) que cumplen la calidad de mecanizado de la pieza de trabajo 2 y la vida útil de la herramienta de corte 1. Después, se repite el cálculo cambiando la velocidad de alimentación  $f$ , la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  y la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  poco a poco, para obtener todas las combinaciones de parámetros de diseño que cumplan la calidad de mecanizado de la pieza de trabajo 2 y la vida útil de la herramienta de la herramienta de corte 1. De todas las combinaciones de parámetros de diseño obtenidas, las condiciones en las cuales la eficacia de corte  $e$  es la más alta se emiten como condiciones de corte adecuadas en la Etapa 10 (S10).

Por otro lado, como resultado de la comparación entre la eficacia de corte  $e$  de la herramienta de corte 1 y los datos de la eficacia de corte  $e$  almacenados previamente, cuando la eficacia de corte  $e$  de la herramienta de corte 1 no es el valor máximo entre los datos de la eficacia de corte  $e$  (la eficacia de corte  $e$  no es buena), vuelva al ajuste de los parámetros de diseño (la etapa inicial de la Etapa 1), en la que las condiciones de corte se diseñan de nuevo.

En resumen, el método para el diseño de condiciones de corte en corte según la presente invención consiste en calcular una cantidad de deflexión  $\alpha$  de la herramienta de corte 1 para evitar que se produzca una "vibración de traqueteo", para calcular una temperatura de corte  $t$  de la herramienta de corte 1 para obtener la vida útil deseada de la herramienta, para calcular la eficacia de corte  $e$  de la herramienta de corte 1 para maximizar la eficacia de mecanizado, para diseñar, a partir del resultado calculado, parámetros de diseño, y generar los parámetros de diseño como condiciones de corte adecuadas; es decir, para optimizar las condiciones de corte.

### Ejemplo experimental

A continuación, se realizará una descripción de un resultado experimental en el que las condiciones de corte para el corte se diseñaron utilizando el método para el diseño de las condiciones de corte en el corte según la presente invención.

Como herramienta de corte 1 para uso en este experimento, se ha preparado una herramienta de fresa de extremo con un diámetro de herramienta de 30 mm, un radio de punta de 0,8 mm, el número de hojas de cuatro y una longitud de saliente de 150 mm. Como pieza de trabajo 2, se preparó acero al carbono S45C (acero al carbono para uso mecánico y estructural: JIS G 4051 (1979)). Se ha realizado un experimento para el diseño de condiciones de corte y la optimización de las condiciones de corte para realizar el corte en el acero al carbono S45C como la pieza de trabajo 2 utilizando la herramienta de fresa de extremo 1 mencionada anteriormente.

Como resultado de la aplicación del método para el diseño de condiciones de corte, la velocidad de alimentación  $f$  de la herramienta de fresa de extremo 1 se calculó como 197 mm/min, la cantidad de corte en dirección radial  $d_r$  se ha calculado como 7,5 mm, la cantidad de corte en dirección axial  $d_a$  se ha calculado como 102 mm, el número de rotación de la herramienta se ha calculado como 4,918 rpm, y el ángulo de torsión se ha calculado como 60 grados.

En función de las condiciones de corte calculadas, se ha fabricado la herramienta de fresa de extremo 1 y se ha realizado un experimento de corte utilizando la herramienta de fresa de extremo 1. Como resultado del corte, la propiedad de la superficie mecanizada y la precisión de mecanizado en la pieza de trabajo 2 estaban bien. Además, se ha demostrado que en el corte real, las condiciones de corte optimizadas cumplen la vida útil de la herramienta de una hora (tiempo permitido para el corte) mostrado en los datos del valor límite superior de la temperatura de corte  $t$  de la herramienta de fresa de extremo 1 (refiérase a la figura 4).

Como el resultado experimental mencionado anteriormente, cuando se usa el método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención, es posible suprimir una "vibración de traqueteo" en la herramienta de corte 1 y también es posible usar la herramienta de corte 1 hasta inmediatamente antes de alcanzar su vida útil. Además, es posible diseñar condiciones de corte adecuadas en las que la eficacia de corte sea la más eficiente.

La realización divulgada en el presente documento debe considerarse no restrictiva sino ejemplar en todos los aspectos.

Por ejemplo, el método para el diseño de condiciones de corte en el corte según la presente invención se ha descrito utilizando un método de corte tal como fresado en el que se realiza un corte con una herramienta de corte 1 rotatoria en una pieza de trabajo 2 fija. Sin embargo, puede aplicarse a un método de corte tal como el torneado en el que se realiza un corte con una herramienta de corte 1 fija en una pieza de trabajo 2 rotatoria.

Particularmente en la realización divulgada en el presente documento, las cuestiones no divulgadas claramente, tales como las condiciones de manejo o condiciones de operación, diversos tipos de parámetros, dimensiones, pesos y volúmenes de componentes, etc. no se apartan del alcance que lleva a cabo, frecuentemente, un experto en la técnica. Por lo tanto, se usan valores que pueden ser estimados fácilmente por una persona normal experta en la técnica.

### 65 Descripción de números y signos de referencia

1 herramienta de corte  
2 pieza de trabajo

REIVINDICACIONES

1. Un método para el diseño de condiciones de corte que diseña las condiciones de corte requeridas para cortar una pieza de trabajo (2) con una herramienta de corte (1), **caracterizado por que** comprende:

- 5 calcular una cantidad de deflexión ( $\alpha$ ) de la herramienta de corte (1) usando parámetros de diseño que comprenden una velocidad de alimentación (f) de la herramienta de corte (1), una cantidad de corte en dirección axial ( $d_a$ ) mediante la herramienta de corte (1), una cantidad de corte en dirección radial ( $d_r$ ) mediante la herramienta de corte (1) y una velocidad de corte (v) de la herramienta de corte (1);
- 10 determinar si se produce o no vibración de traqueteo en la herramienta de corte (1) durante el corte en función de la cantidad de deflexión ( $\alpha$ ) calculada de la herramienta de corte (1) y un umbral ( $\beta$ ) predeterminado
- 15 calcular un espesor de corte máximo ( $C_{t_{max}}$ ) mediante la herramienta de corte (1), que es un espesor de corte máximo permitido de la pieza de trabajo (2), de la velocidad de alimentación (f) de la herramienta de corte y la cantidad de corte en dirección radial ( $d_r$ ) mediante la herramienta de corte (1), cuando se determina que la "vibración de traqueteo" no se produce en la herramienta de corte (1);
- 20 calcular una temperatura de corte (t) de la herramienta de corte (1) a partir del espesor de corte máximo ( $C_{t_{max}}$ ) calculado, y la velocidad de corte (v) de la herramienta de corte (1);
- determinar si se cumple o no la vida útil de la herramienta de corte (1) en el corte en función de la temperatura de corte calculada de la herramienta de corte (1) y un umbral predeterminado;
- 25 calcular una eficacia de corte (e) de la herramienta de corte (1) en el corte a partir de un valor máximo de la velocidad de corte de la herramienta de corte (1) permitida en el corte, la velocidad de alimentación (f) de la herramienta de corte (1), la cantidad de corte en dirección axial ( $d_a$ ) mediante la herramienta de corte (1) y la cantidad de corte en dirección radial ( $d_r$ ) mediante la herramienta de corte (1), cuando se cumple la vida útil de la herramienta de corte; y
- 30 comparar la eficacia de corte (e) calculada de la herramienta de corte (1) con los datos de una eficacia de corte almacenada previamente y cuando la eficacia de corte (e) calculada de la herramienta de corte (1) es un valor máximo entre los datos de la eficacia de corte (e), usando como condiciones de corte, la velocidad de alimentación (f) de la herramienta de corte (1), la cantidad de corte en dirección axial mediante la herramienta de corte (1), la cantidad de corte en dirección radial ( $d_r$ ) mediante la herramienta de corte (1), y la velocidad de corte (v) de la herramienta de corte (1),
- en el que la cantidad de deflexión ( $\alpha$ ) de la herramienta de corte se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\alpha = F_{b_{ave}}/G,$$

- 35 en el que  $\alpha$  es la cantidad de deflexión (m),
- $F_{b_{ave}}$  es un valor promedio (N) de una resistencia de corte en una dirección de vibración de la herramienta de corte (1), y
- G es una rigidez a la flexión (N/m) en la dirección de vibración de la herramienta de corte (1).

40 2. El método para el diseño de condiciones de corte en un corte según la reivindicación 1, en el que los parámetros de diseño comprenden además un parámetro de una forma de la herramienta de corte (1).

45 3. El método para el diseño de condiciones de corte en un corte según la reivindicación 1, en el que el espesor de corte máximo ( $C_{t_{max}}$ ) mediante la herramienta de corte (1) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$C_{t_{max}} = f \cdot \text{sen} \Theta_1,$$

- 50 en el que  $C_{t_{max}}$  es el espesor de corte máximo (mm) por la herramienta de corte (1),
- f es la velocidad de alimentación (mm/hoja) de la herramienta de corte (1),
- $\Theta_1 = \text{acos}((r-d_r)/r)$ ,
- r es un radio (mm) de la herramienta de corte (1), y
- $d_r$  es la cantidad de corte en dirección radial (mm) por la herramienta de corte (1).

FIG. 1

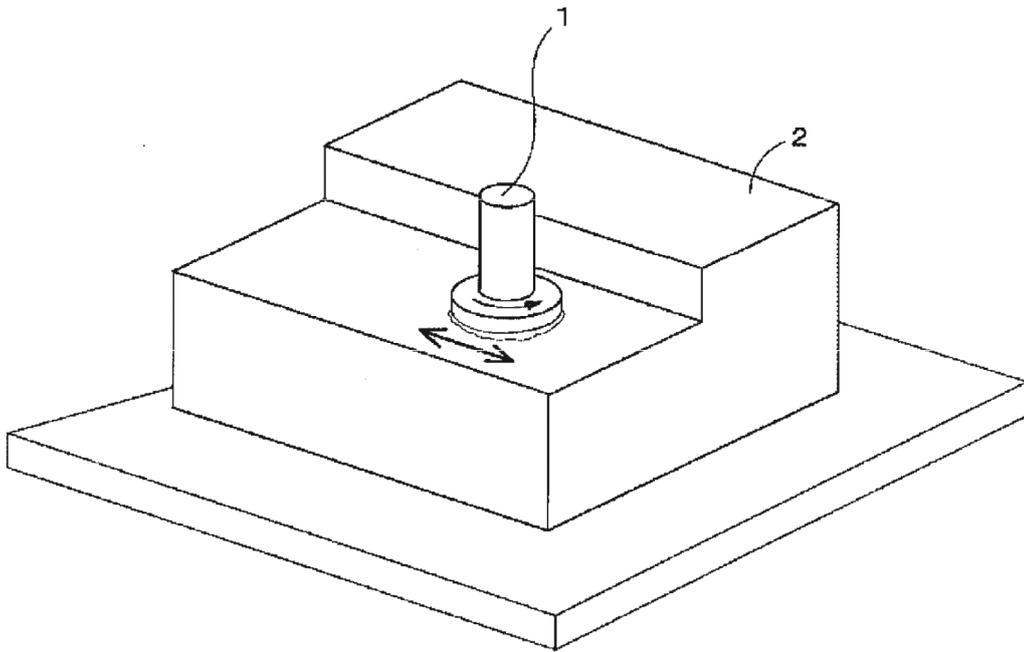


FIG. 2

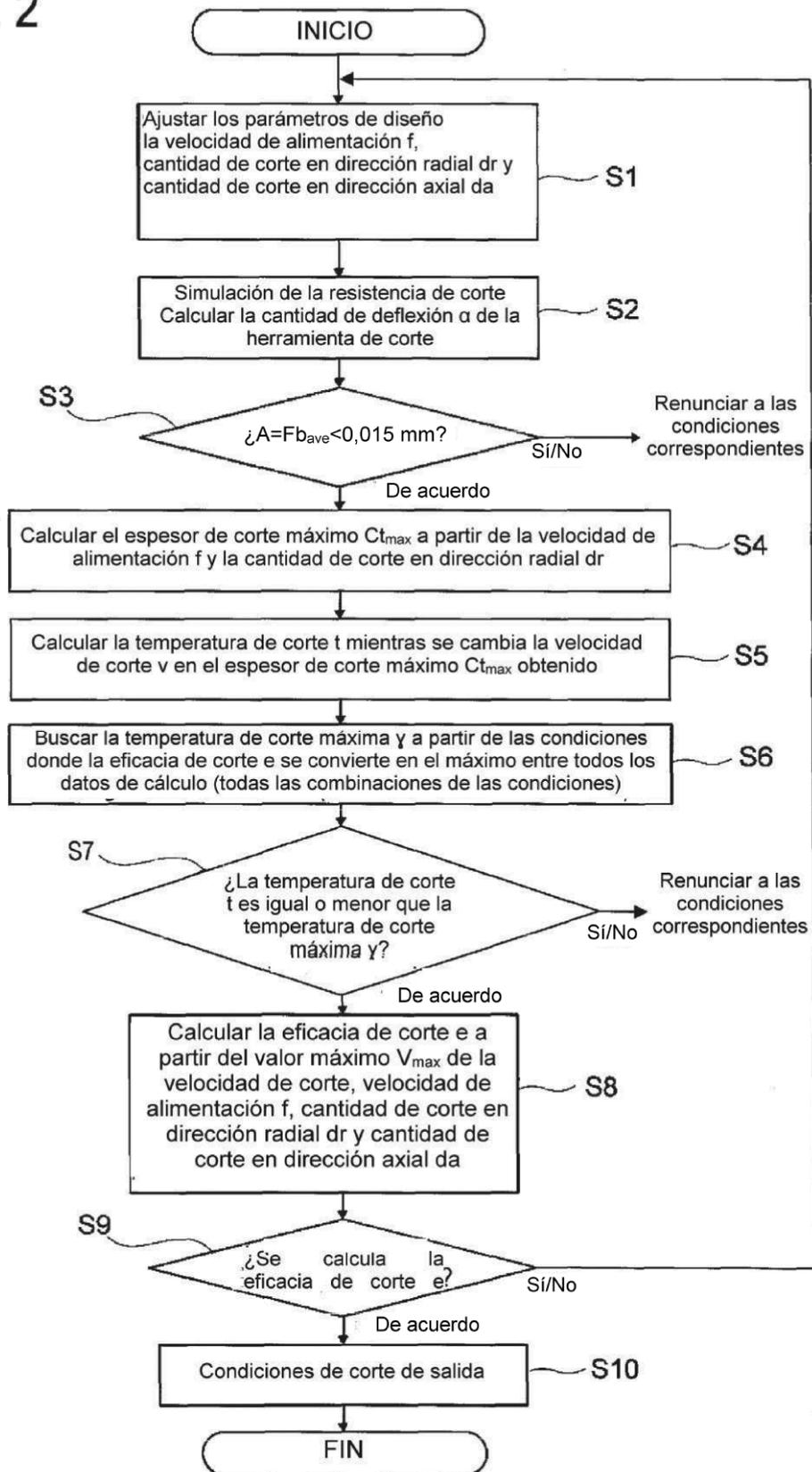


FIG. 3

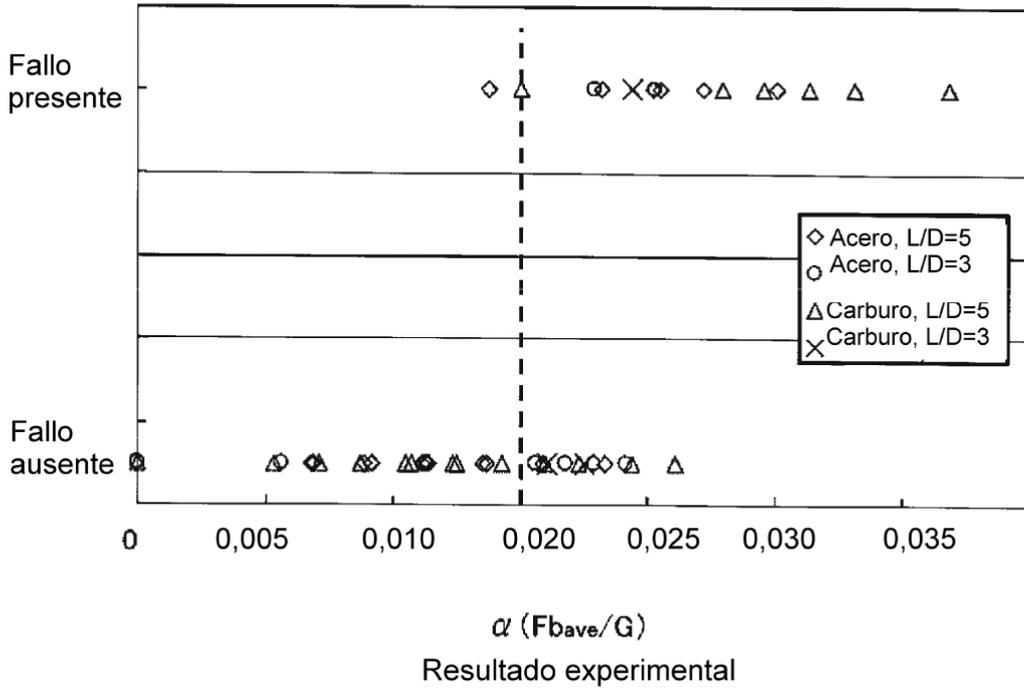


FIG. 4

