

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 629 831**

51 Int. Cl.:

B23H 7/18 (2006.01)

B23H 7/20 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **17.01.2013** **E 13151562 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **29.03.2017** **EP 2756904**

54 Título: **Máquina fresadora de descarga eléctrica**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
16.08.2017

73 Titular/es:

AGIE CHARMILLES SA (100.0%)
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH

72 Inventor/es:

ROLLET, CLAUDE;
TRICARICO, CLAUDIO;
DIOT, JEAN-CLAUDE y
DELPRETTI, ROGER

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 629 831 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

Máquina fresadora de descarga eléctrica

La presente invención se refiere a una máquina fresadora de descarga eléctrica que utiliza electrodos de herramienta con forma alargada y de sección transversal constante, realizando dichas herramientas el mecanizado en sus extremos y estando sometidas a un desgaste longitudinal, estando dicha máquina equipada con:

- un generador de descarga erosivo,
- un eje giratorio con un mandril,
- un controlador numérico (NC),
- un conjunto de ejes motorizados controlados por el controlador numérico,
- un dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado,
- un generador de trayectoria de herramienta (sistema CAD/CAM) conectado mediante un interfaz con el controlador numérico, que se puede utilizar para dividir la pieza de trabajo en una pila de capas sucesivas y definir una o más trayectorias para el barrido de la herramienta en cada capa, y
- un post-procesador que actúa como un generador de valores de conjunto, conectado mediante una interfaz con el controlador numérico o integrado en el mismo.

Las herramientas normalmente utilizadas para el fresado de descarga eléctrica son tubos, o de forma menos común, cilindros. Sin embargo, debido a que la herramienta está hecha para girar, es posible utilizar cualquier tipo de herramienta que tenga una sección transversal constante, incluyendo, por ejemplo una sección transversal cuadrada o rectangular.

El método de fresado de descarga eléctrica es una variante bien conocida del mecanizado EDM, documentado en profundidad en la tesis realizada por Philip Bleys, "Electrical Discharge Milling: technology and tool wear compensation", Université Catholique de Louvain, Diciembre de 2003.

Para conseguir la precisión aceptable en la pieza de trabajo mecanizada, el método de fresado de descarga eléctrica requiere compensación continua del desgaste de la herramienta de electrodo. Dado que la forma del extremo de la herramienta normalmente es invariable, su desgaste se puede compensar para una única dimensión, en otras palabras, de manera incremental a lo largo del su eje de simetría que generalmente es idéntico al eje Z de la máquina.

El método ensayado es el de incluir comandos de compensación en el programa que describe la trayectoria de herramienta. El término "correcciones anticipadas" generalmente es utilizado en este caso, cuando las correcciones se determinan con antelación. Estas correcciones tienen la forma de una inclinación o gradiente de la trayectoria de herramienta, de tal manera que la herramienta penetra en la pieza de trabajo a medida que avanza en su trayectoria. Este método de compensación anticipada es complementado por las medidas periódicas de la longitud real de la herramienta fuera del proceso de mecanizado, utilizando un sensor de referencia; mediante estos medios es posible medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado, para comprobar que el desgaste programado coincide con la reducción de longitud medida real, y para realizar las correcciones.

La máquina está conectada a un sistema CAD/CAM que es un programa que tiene la función de dividir la pieza de trabajo en capas superpuestas y generar trayectorias de herramienta para el controlador numérico (NC) en cada capa. Entre el sistema CAD/CAM y el NC normalmente es necesario implementar un programa de post-procesador que tiene la función de introducir en el programa de mecanizado los parámetros tecnológicos apropiados para la máquina fresadora de descarga eléctrica, junto con las velocidades nominales o de límite del avance de la herramienta. En algunas realizaciones, el post-procesador se puede incorporar en el NC. En base a la información procedente del sistema CAD/CAM, el post-procesador ejecuta una simulación preliminar del proceso de mecanizado, en la que, en particular, son identificados los puntos en los que el material aun no ha sido mecanizado, son predichos los volúmenes de material que van a ser todavía mecanizados, y el correspondiente desgaste en la herramienta es calculado de acuerdo con un modelo más o menos preciso.

Este método está sometido a una desventaja a la que Bleys propone una solución; ver, en particular, la Figura 6.52 de la sección 6.9.3 del documento mencionado anteriormente. La pieza no mecanizada aun debe ser descrita mediante un modelo geométrico muy preciso, utilizado el programa CAD/CAM. Bleys propone un dispositivo para detener la compensación de desgaste cuando la herramienta entra en un hueco en el material que no está identificado en el programa CAD/CAM.

El dispositivo de compensación combinada original desarrollado por Bleys incluye una primera rama de "tiempo real" y una segunda rama "anticipada". Cuando la rama de tiempo real está activada, cuenta las descargas efectivas que se producen dentro de un intervalo de tiempo medido mediante un reloj, e inmediatamente aplica la compensación

de desgaste a la herramienta en proporción al número registrado.

La rama anticipada proporciona una secuencia de gradientes de compensación determinados de acuerdo con un programa. Estos gradientes se pueden aplicar en sucesión a las abscisas curvilíneas definidas con antelación a lo largo de toda la trayectoria.

- 5 Utilizando el método combinado de Bleys, los cálculos son realizados simultáneamente tanto en la rama de tiempo real como en la anticipada, pero solo una de las dos genera el comando de compensación, en base a una comparación de los dos resultados.

Es deseable que la rama de tiempo real genere comandos de compensación continuamente. La rama de tiempo real no entrega el control a la rama anticipada a menos que la primera envíe un comando de compensación más elevado que la segunda. La rama de tiempo real sirve, en particular, para detectar movimientos de la herramienta en los huecos en el material que no están identificados con antelación, y para detener su compensación. La rama de tiempo real es la mejora propuesta por Bleys que hace posible, en particular, detectar movimientos de la herramienta en los huecos del material que no fueron identificados con antelación, y detener la compensación. Sin embargo, esto conlleva un riesgo constante de desviación si el sistema permite la más pequeña diferencia entre la medida del desgaste y la compensación para ello. Para reducir este riesgo, la rama anticipada actúa como una barrera de seguridad y evita las desviaciones hacia abajo accidentales que son intrínsecas a la rama de tiempo real.

En el sistema de Bleys, por lo tanto, encontramos una rama de tiempo real que tiene una secuencia temporal y una rama anticipada que tiene una secuenciación espacial; la corrección de desgaste es inyectada directamente en el eje Z que también está secuenciado por un reloj.

- 20 Sin embargo, este método tiene una desventaja, consistente en que, si los parámetros de desgaste son seleccionados de forma incorrecta, el sistema puede llegar a bloquearse en la rama anticipada, debido a que las dos ramas funcionan de acuerdo con una evacuación del desgaste de la herramienta y se sabe que este desgaste puede variar de forma intensa de acuerdo con las condiciones de mecanizado. Véase Bleys, Sección 4.6. Una solución a este problema ha sido propuesta en la patente EP1238740B1, pero el método descrito en la misma es complicado y costoso. En consecuencia las desventajas debidas a la variabilidad del desgaste en la herramienta persisten.

Por otra parte, la Figura 3.18 de la sección 3.5.2 del documento de Bleys ilustra otro problema que no ha sido resuelto satisfactoriamente en el caso en el que el modelo geométrico de la pieza de trabajo no mecanizada no ha sido totalmente trabajado fuera del programa CAD/CAM. Este problema concierne al riesgo de deformación acumulada del extremo de la herramienta más allá del espesor de la capa, en el caso en el que sea insuficiente, pero no cero, el acoplamiento con el material en una carrera prolongada; en este caso, la superposición Z_L entre la pieza de trabajo y la herramienta es demasiado pequeña y el desgaste de la herramienta deja de estar uniformemente distribuido sobre su radio.

El objetivo de la presente invención es proponer una solución a las desventajas descritas anteriormente. Para este fin, la máquina fresadora de descarga eléctrica está caracterizada por que el post-procesador genera un archivo del conjunto de valores C [m^3/m] equivalente a un volumen lineal de conjunto que va a ser erosionado de la pieza de trabajo por unidad de longitud de la carrera de herramienta, que interactúa con un primer controlador que ejecuta un ciclo de control repetitivo compuesto por al menos las siguientes etapas:

- evaluar el volumen Q erosionado por cada descarga,
- calcular la distancia s recorrida por la herramienta desde una descarga efectiva a la siguiente,
- 40 - calcular el volumen lineal erosionado real M [m^3/m] para al menos una descarga efectiva, formando M una muestra de medida,
- comparar dicha muestra M con el correspondiente valor de conjunto C para generar un error $D = C - M$ [m^3/m],
- calcular y transmitir un comando destinado a reducir este error durante el siguiente ciclo o ciclos.

La primera etapa en el ciclo de control reivindicada por la invención es evaluar el volumen Q erosionado por cada descarga. Se han realizado numerosos experimentos desde la introducción del fresado de descarga eléctrica con el fin de determinar la efectividad de cada tipo de descarga. Véase, por ejemplo la patente CH562080. Véase también Bleys, Sección 4.3.2 y Apéndices A: "Pulse analysis and pulse classification". Utilizando los ensayos tecnológicos, se han dibujado tablas, que muestran el volumen de material Q erosionado por tipo de descarga. El fresado de descarga eléctrica proporciona una ventaja adicional: dado que la herramienta se mantiene girando rápidamente, la retirada de partículas en la separación se acelera, dando lugar a una notable regularidad de la potencia erosiva en cada descarga. La fiabilidad del método es además mejorada utilizando descargas de energía constante. Para fines prácticos, esto significa que el número de categorías de descarga se puede reducir a dos, a saber, descargas efectivas y cortocircuitos. Ningún material es retirado por estos últimos.

La segunda etapa en el ciclo de control consiste en calcular la distancia s recorrida por la herramienta desde una descarga efectiva a la siguiente. Para encontrar el intervalo de tiempo T entre dos descargas efectivas sucesivas,

5 simplemente es necesario registrar la diferencia entre el momento cuando una primera descarga efectiva tuvo lugar y el momento cuando la segunda descarga efectiva tuvo lugar. También hay una forma conocida de calcular la velocidad V_R a la que la herramienta avanza sobre su trayectoria, utilizando un cálculo de vector basado en las velocidades medidas de cada eje motorizado de la máquina. Entonces el producto $T \cdot V_R = s$. Las siguientes etapas en el ciclo de control son conocidas por los expertos en la técnica y no requieren explicación detallada.

Para hacer posible que este proceso sea utilizado, es ventajoso que el archivo de valores de conjunto C [m^3/m] contenga al menos una secuencia de valores asociados con abscisas curvilíneas en la trayectoria. La sección 3.6, página 58, del documento de Bleys proporciona una descripción completa de la información que va ser incluida en dicho archivo o programa de valores de conjunto.

10 Para cada etapa de mecanizado con forma de trayectoria de herramienta, se genera un archivo, que contiene todos los parámetros de procesamiento necesarios. El contenido de este archivo incluye, por ejemplo, una secuencia de vectores de movimiento horizontal, así como los vectores de compensación de desgaste de herramienta, siendo éstos últimos opcionalmente añadidos a los movimientos verticales. La Figura 3.25 de la Sección 3.6 del documento de Bleys muestra un ejemplo de una línea de programa en la que el comando etiquetado CM es un comando directo para la compensación de desgaste de herramienta, expresado en unidades de un milímetro. La presente invención propone reemplazar este comando CM por un volumen lineal de conjunto C [m^3/m] que va ser mecanizado en la pieza de trabajo, expresado en unidades de un metro cúbico por metro.

Un archivo de valores de conjunto C [m^3/m] normalmente generado resp. calculado con el post-procesador, por otro lado esos valores C podrían también ser medidos con antelación o extraídos de una base de datos, etc.

20 Este proceso hace posible, de manera muy ventajosa, que el método sea independiente de las variaciones de desgaste de la herramienta de electrodo. Después de numerosos ensayos tecnológicos, se ha encontrado que la retirada de material de la pieza de trabajo por cada tipo de descarga erosiva es remarcadamente constante, independientemente de las condiciones de mecanizado. Se conoce que esto no es el caso para la retirada de material, o desgaste en la herramienta de electrodo. Por lo tanto, basando el método de control en un volumen lineal que va ser mecanizado por la herramienta en la pieza de trabajo, es posible, como se ha descrito anteriormente, compensar su desgaste de forma precisa, independientemente de las variaciones de este desgaste. La secuencia del controlador de desgaste, de acuerdo con la invención, se determina por el paso a través de incrementos fijos o variables de longitud, o intervalos de trayectoria; por tanto es exclusivamente espacial. En consecuencia, si la precisión del mecanizado es de importancia primaria y las velocidades de cálculo son demasiado elevadas, es posible reducir la velocidad de avance de la herramienta cuando se requiera, sin afectar adversamente a los resultados, debido a que éstos no dependen de los tiempos de cálculo; esto es una ventaja notable.

30 A la inversa, el ajuste de la separación de mecanizado puede llegar a ser crítica a elevadas velocidades de avance. En la primera realización de la invención, por tanto, un segundo controlador dedicado al ajuste de la separación de mecanizado está hecho para controlar una velocidad de avance de la herramienta V_a [m/s] en su trayectoria alrededor de un valor de conjuntito V_C [m/s]. Este ajuste se realiza de acuerdo con el valor del retraso medio en la iniciación de la descarga. Un retraso corto conduce a la deceleración, y viceversa. En algunos casos, el valor de conjunto V_C [m/s] se puede aplicar directamente sin control de tiempo real; la herramienta entonces avanzará a velocidad constante. Sin embargo, en esta realización simplificada existe un riesgo de colisión con los obstáculos no identificados.

40 Los vectores de compensación de desgaste de herramienta son añadidos a los movimientos verticales, de acuerdo con Bleys (Figura 3.25, citado anteriormente), aparecen en cada línea del programa. Debido a una característica reivindicada de la invención, es deseable evitar esta redundancia y permitir que el primer controlador, de manera ventajosa, procese los valores de conjunto recibidos desde el post-procesador manteniéndolos constantes entre dos abscisas curvilíneas sucesivas, o haciendo una interpolación a partir de una abscisa curvilínea a la siguiente, siendo factible cualquier tipo de interpolación. Esto reduce de manera ventajosa el volumen de datos contenido en el archivo o programa generado por el post-procesador.

50 Para compensar este desgaste, la herramienta, durante su movimiento horizontal, penetra en la pieza de trabajo mediante incrementos de longitud más grandes o más pequeños, con el riesgo de dejar marcas no deseadas sobre la superficie de la pieza de trabajo mecanizada. Es importante poder minimizar estas marcas y de este modo ajustar el incremento de compensación a los requisitos de cada ejecución de acuerdo con un nivel de tolerancia apropiado. Claramente, por tanto, el primer controlador puede generar un comando de compensación de desgaste de herramienta longitudinal tan pronto como el error $D = C - M$ [m^3/m] exceda una tolerancia dada que puede ser tan pequeña como se desee.

55 Haciéndolo así, el controlador numérico puede calcular y transmitir un comando destinado a reducir este error D durante el siguiente ciclo o ciclos de control. El comando destinado a reducir este error D y de este modo a compensar el desgaste de herramienta se puede implementar de diferentes formas. Puede ser un comando de posicionamiento o de velocidad o un comando que afecte a la frecuencia de pulso o una combinación de los mismos. Preferiblemente, el comando está dirigido al conjunto de ejes motorizados. El comando puede dar lugar por ejemplo, o bien al movimiento del electrodo o bien de la parte. En una realización adicional, el comando podría

permitir que el electrodo sea deformado o desplazado a través de su soporte.

Si se observa el funcionamiento del primer controlador de acuerdo con la invención, se verá que su función principal es copiar la geometría de la pieza de trabajo a la siguiente capa sin amplificar ninguno de los errores de su calidad plana en la misma. Para conseguir esto, es preferible que dicho controlador sea capaz de ejecutar al menos dos ciclos de control, a saber, una medida del error seguida de la corrección del error, antes de que la herramienta haya dejado su ubicación actual. Por tanto, es ventajoso que el primer controlador ejecute al menos un ciclo de control cuando la herramienta haya cubierto una distancia sobre la trayectoria que sea más pequeña que el diámetro de rotación de herramienta, y preferiblemente más pequeña que su radio de rotación. Esta medida es posible incluso para herramientas de diámetro pequeño, debido a que las velocidades de cálculo no afectan a los resultados, como se ha mencionado anteriormente.

La distancia s recorrida por la herramienta desde una descarga efectiva a la siguiente es un parámetro esencial para el funcionamiento del primer controlador. Es incluso factible ejecutar un ciclo de control para cada chispa: esto es la unidad más pequeña de control que se puede prever. La desventaja consiste en que esta distancia s no es constante, y por tanto la implementación es relativamente complicada. Para proporcionar un resultado más preciso, es preferible que el primer controlador calcule la suma de volúmenes erosionados en la pieza de trabajo $\sum Q$ sobre una parte de la trayectoria, o intervalo de trayectoria P_T [m], incluyendo al menos un ciclo de control, y produzca una muestra de medida M [m³/m] equivalente al volumen real erosionado en dicha parte de trayectoria. En este caso, Q es sustituido por la suma de los volúmenes $\sum Q$ y s es sustituida por la suma de las distancias $\sum d$, y $M = \sum Q / \sum d$. Adicionalmente, si se utilizan descargas de energía constantes, la evolución de los volúmenes erosionados en la pieza de trabajo $\sum Q$ se simplifica y se puede resumir como el conteo de las descargas efectivas en dicha parte de la trayectoria. Otra simplificación ventajosa es segmentar la trayectoria de la herramienta en incrementos fijos o intervalos de la trayectoria P_T [m] y ejecutar un ciclo de control por intervalo de trayectoria.

La invención incluye dos modos distintos de ejecución que difieren entre sí en las operaciones específicas del primer controlador y del segundo controlador que interactúa con el primero. El tipo de comando generado por el primer controlador, con el objetivo de reducir el error $D = C - M$, difiere de un modo al otro. El segundo controlador, presente en ambos modos, está destinado a controlar la separación de mecanizado; también funciona de forma diferente de un modo al otro.

El primer modo es particularmente adecuado para mecanizar las capas gruesas, mientras que el segundo es preferible para mecanizar las capas delgadas. Dichas capas gruesas tienen un intervalo de espesor mínimo a máximo que típicamente se sitúa entre el valor de la separación de mecanizado y el radio de la herramienta. Las capas describas son delgadas y más pequeñas o iguales a la separación de mecanizado.

En el caso del primer modo de ejecución, el primer controlador calcula, en cada ciclo de control, un comando de compensación de desgaste de herramienta longitudinal W tal que W [m] = $F(M, D) \cdot U_0$, en donde $F(M, D)$ es una función de la variable de muestra de medida M y la variable de error $D = C - M$ y en donde U_0 [m/m³] es un coeficiente denominado "Desgaste de herramienta longitudinal".

De manera ventajosa, la función $F(M, D)$ se puede establecer de una forma muy simple con una función de control convencional del tipo PID, utilizando por ejemplo una expresión genérica:

$$F(M, D) = k_1 \cdot M + k_2 \cdot D + k_3 \cdot \Delta D + k_4 \cdot \sum D$$

en donde la variable M es un comando a priori, $D = C - M$ es una variable de error, ΔD es el diferencial de esta última, $\sum D$ es su suma, y $k_1, k_2, k_3,$ y k_4 son coeficientes en donde preferiblemente $k_1 = 1$.

De acuerdo con los métodos habituales, la previsión de debe hacer para restablecer $\sum D$ a cero, en particular, si el valor de conjunto C cambia.

Con respecto al primer modo de ejecución, la separación de mecanizado se controla mediante un segundo controlador que ajusta una velocidad de avance V_a [m/s] de la herramienta alrededor de un valor de conjunto V_c [m/s] suministrado por el archivo generado por el post-procesador, como se ha documentado por Bleys en la Sección 4.2.2.

En la expresión W [m] = $F(M, D) \cdot U_0$, el coeficiente U_0 no necesariamente tiene que ser exacto. Esta propiedad excepcional es particularmente ventajosa ya que hace innecesario almacenar tablas de valores de proceso de desgaste de la herramienta o implementar complejas estrategias para segmentar las carreras de herramienta (véase la sección 6.5.3 en Bleys y el documento anteriormente citado EP1238740B1). Dentro de unos pocos ciclos de control, la función $F(M, D)$ corregirá el error causado por un valor aproximado de U_0 .

Si el coeficiente U_0 es desconocido, el mecanizado puede ser iniciado con este coeficiente ajustado a cero; en otras palabras, el mecanizado puede tener lugar para un corto tiempo sin compensación de desgaste de herramienta. Después de una carrera más larga o más corta, la herramienta escapará de la pieza de trabajo y dejará de mecanizarla. Habrá perdido una longitud igual al espesor E_c de la capa. Después simplemente es necesario registrar el volumen de material $\sum Q'$ mecanizado de la pieza de trabajo durante el periodo y encontrar el cociente

$E_c/\Sigma Q'$ con el fin de obtener una primera evaluación del coeficiente U_0 .

5 Para el resto de la operación de mecanizado, el conocimiento del coeficiente U_0 se puede perfeccionar más utilizando el dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado. En cualquier carrera, el mecanizado es interrumpido al inicio y al final de la carrera, con el fin de realizar dos medidas de la longitud real de la herramienta; el volumen del material $\Sigma Q'$ mecanizado a partir de la pieza de trabajo durante el periodo referido es registrado. Se observará entonces que el primer controlador puede calcular un coeficiente de sustitución U_0 [m/m³] utilizando el cociente $L_w / \Sigma Q'$, en donde L_w es la longitud de la herramienta que ha sido consumida, medida por el dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado, y $\Sigma Q'$ es la suma de los volúmenes erosionados de la pieza de trabajo cuando la herramienta ha cubierto la parte de la trayectoria que ha dado lugar a dicho desgaste L_w .

10 De una manera aun más ventajosa, el conocimiento del coeficiente U_0 se puede perfeccionar sin interrumpir el mecanizado. Esta operación se puede realizar de forma continua mediante el primer controlador, registrando un número suficiente de ciclos de regulación y encontrando simultáneamente tanto la suma ΣW de las compensaciones W como la suma $\Sigma Q'$ de los volúmenes erosionados. También se observará que el primer controlador puede calcular un valor de sustitución del coeficiente U_0 [m/m³] utilizando un cociente $\Sigma W / \Sigma Q'$, en donde ΣW es la suma de las compensaciones de desgaste de herramienta longitudinal ejecutados en una parte dada de la trayectoria y $\Sigma Q'$ es la suma de los volúmenes erosionados de la pieza de trabajo cuando la misma parte de la trayectoria ha sido cubierta. Cuando estos cálculos han sido completados, el primer controlador puede actualizar el coeficiente U_0 si fuera necesario en la relación W [m] = $F(M, D) \cdot U_0$.

20 Como se ha mencionado anteriormente el sistema CAD/CAM realiza una simulación preliminar de la operación de mecanizado, identificando las ubicaciones en las que el material permanece a medida que la herramienta progresa. La pieza de trabajo antes del mecanizado debe por tanto estar descrita de forma precisa y totalmente en el software CAD/CAM. Si la descripción de la geometría de la pieza de trabajo es inexacta o incompleta, se proporciona una variante de la primera realización de la invención, para evitar que la herramienta, por ejemplo, se hunda en la pieza de trabajo si pasa a través de un hueco no identificado en el material. En la situación inversa, dado que el mecanizado tiene lugar en sucesivas capas, no parece posible que la herramienta encuentre obstáculos no identificados que tengan un espesor mayor que el de una capa. Sin embargo, dado que la compensación puede ser detenida en ciertas condiciones, es posible que los residuos del material puedan quedar en su sitio localmente cuando una capa es mecanizada. Por tanto se debe prever la posibilidad de que el herramienta encorará exceso de material local no identificado, con un espesor aproximadamente igual al exceso local de material, con un espesor aproximadamente igual al de una capa además de la capa mecanizada.

25 El primer controlador puede detectar la ocurrencia de una falta de material cuando el error $D = C - M$ excede un umbral positivo igual a la fracción del espesor de la capa. Inversamente, la ocurrencia de un exceso de material se puede detectar cuando el error $D = C - M$ cae por debajo de otro umbral que es del mismo orden de magnitud pero que es negativo. Por encima y por debajo de la ventana definida por estos dos umbrales, evidentemente sería ventajoso sustituir la relación $W = F(M, D) \cdot U_0$ por $W = k_1 \cdot M \cdot U_0$. De este modo, si la herramienta encontró un hueco no identificado en el material, la compensación sería detenida incluso si el valor de conjunto C fuese distinto de cero. Inversamente, si la herramienta encontró un exceso no identificado de material, la compensación sería incrementada por encima del nivel requerido por el valor de conjunto C . Este efecto se consigue forzando la variable de error D a cero en la función $F(M, D)$ si D cae fuera de una ventana de tolerancia alrededor de cero. En este caso, por ejemplo, dicha función es reducida a $k_1 \cdot M$. Inversamente, si la variable de error D cae dentro de dicha ventana, en otras palabras dentro de una región próxima a cero, entonces la función $F(M, D) = k_1 \cdot M + k_2 \cdot D + k_3 \cdot \Delta D + k_4 \cdot \Sigma D$ se mantiene constante.

45 El método es similar al propuesto por Bleys, con la diferencia de que, de acuerdo con la invención, la secuenciación del primer controlador es espacial en todos los casos. Esto reduce considerablemente la tendencia a la desviación cuando la variable de error D es forzada a cero en la función $F(M, D)$.

Con respecto a otro aspecto, dado que el controlador numérico (NC) está secuenciado por un reloj, el comando W no puede ser transmitido a él sin una adaptación de acuerdo con el siguiente ejemplo:

50 cuando el segundo controlador ha generado un comando de velocidad de avance V_a [m/s], el primer controlador calcula la compensación de desgaste W [m] por intervalo de trayectoria P_T [m] y transmite el NC un comando de velocidad V_w [m/s] = $V_a \cdot W / P_T$ destinado a compensar el desgaste de la herramienta, V_w que es exclusivamente positivo. De este modo, NC recibe un comando temporal que se puede aplicar generalmente al eje Z o a una combinación de ejes. El ejemplo anterior describe la formación de un comando de velocidad, claramente, un comando de posición se puede calcular de manera similar.

55 Cuando el primer controlador opera fuera de dicha ventana de tolerancia, la herramienta deja de seguir la geometría de la pieza de trabajo dejada por el mecanizado de la capa precedente. Si el coeficiente U_0 es exacto, o si ha sido posible actualizarlo con antelación, el extremo de la herramienta inmediatamente sigue una trayectoria lineal sobre una distancia que normalmente es suficiente para conseguir un acoplamiento que permita un retorno a la ventana.

En los casos en los que $D = C$, es decir el acoplamiento es cero, claramente no hay riesgo de desviación, independientemente de la longitud de la carrera de herramienta en el hueco. Las fases críticas son aquellas en las que el controlador funciona fuera de la ventana y el acoplamiento no es cero. Es preferible que estas fases sean lo más cortas posible. La distancia de referencia, desde este punto de vista, es la que es recorrida por la herramienta cuando el desgaste produce un grado de acortamiento igual al espesor de la capa, o "espacio constante de la herramienta". En consecuencia, con el fin de asegurar la precisión del mecanizado, es ventajoso, si el mecanizado

- 5 tiene lugar con D fuera de dicha ventana sobre una longitud de trayectoria mayor que el espacio constante de la herramienta, interrumpir el mecanizado para la realización de un ciclo de medida de longitud de herramienta para la reposición de la herramienta a la altura exacta de la capa que está siendo mecanizada.
- 10 Otra fase crítica se ilustra en la Figura 3.18 de la sección 3.5.2 de Bleys. En estas condiciones, el acoplamiento lateral Z_L entre la herramienta y la pieza de trabajo es insuficiente para hacer que el desgaste sea uniformemente distribuido sobre el extremo de la herramienta, dando lugar a un riesgo de deformación acumulada si las mismas condiciones persisten durante una carrera excesivamente larga. La insuficiencia de Z_L puede ser detectada por la medida M . Es por tanto ventajoso disponer que el primer controlador fuerce la compensación de desgaste W a cero
- 15 si $M < \text{Lim1}$ sobre una carrera $> P$, en donde Lim1 y P son magnitudes que corresponden a un riesgo de deformación de la herramienta. De este modo, la punta de la herramienta permanecerá a la altura de la capa que está siendo mecanizada. La desventaja es que la herramienta dejará exceso de material después de su paso, y este material tendrá que ser retirado con la siguiente capa. Como se ha mencionado anteriormente, sin embargo, el primer controlador ha sido diseñado para resistir un exceso de material limitado. Además, las trayectorias de barrido normalmente cruzan desde una capa a la siguiente, y por tanto el mismo fallo no será reproducido en una pluralidad de capas.

En una segunda realización de la invención, el segundo controlador dedicado a la separación de mecanizado real hace que la herramienta avance y se retire en una dirección próxima a su eje, este movimiento proporciona también compensación para el desgaste en la herramienta. En la práctica, el controlador de separación elegido para la

25 segunda realización de la invención se caracteriza por un modo de funcionamiento que difiere considerablemente de la primera realización. Sin embargo, el modo de funcionamiento es bien conocido por las personas expertas en la técnica. En efecto, este controlador es un controlador de separación convencional, similar al tipo comúnmente utilizado para mecanizado orbital y planetario, como se ha documentado por Bleys en la Sección 2.3.1. En la segunda realización, por lo tanto el segundo controlador genera un comando de velocidad positivo o negativo V_W [m/s] con el fin de abrir o cerrar la separación entre la herramienta y la pieza de trabajo en una dirección que es más o menos perpendicular a la pieza de trabajo.

En el caso de capas delgadas, es altamente ventajoso utilizar este tipo de control de separación. En las superficies de piezas de trabajo suficientemente planas, se hace posible conseguir velocidades de barrido elevadas sin ningún riesgo de extinción de chispas o cortocircuito. Esta prestación es difícil de conseguir con los dispositivos de acuerdo con la primera realización. Es bien conocido que un controlador orbital de este tipo mantiene el retraso de ignición de chispa medio T_d constante, mientras que se compensa automáticamente el desgaste de la herramienta. El problema del desgaste es resuelto de este modo de una forma simple y efectiva. Sin embargo, la densidad de chispa de superficie no está controlada, y dado que el mecanizado se realiza capa por capa, inevitablemente habrá una acumulación de errores geométricos. Es por tanto igualmente ventajoso, en esta realización específica, controlar el volumen de conjunto lineal que va a ser erosionado por unidad de longitud de la carrera de herramienta. Este objetivo se consigue de la siguiente manera: de acuerdo con el valor del error D , el primer controlador envía al generador de mecanizado un comando ΔF destinado a modificar la frecuencia de las descargas erosivas de tal manera que la frecuencia aumenta si $D > 0$ y disminuye si $D < 0$. De este modo, el primer controlador puede actuar de una forma calibrada, de manera que el mecanizado es más o menos intensivo dependiendo de la ubicación momentánea de la herramienta.

La retroalimentación correctora es virtualmente inmediata si se ajusta la duración de la pausa entre descargas. También es posible actuar de una forma más moderada modificando el retraso de ignición de chispa medio. La duración de pausa y el retraso de ignición de chispa son factores que se pueden utilizar directamente para variar la frecuencia de chispa y en consecuencia la potencia de mecanizado. Las funciones de control factibles son conocidas por los expertos en la técnica y se pueden implementar de muchas formas distintas.

La elevada capacidad de respuesta del primer controlador en esta realización es particularmente apropiada para las velocidades de avance que se pueden conseguir, a saber 10 a 20 mm/s. El archivo de valor de conjunto debe por tanto incluir comandos para la deceleración en aproximaciones a cambios de dirección, conduciendo esta deceleración a comandos automáticos para reducir la frecuencia de chispa a través del primer controlador, y viceversa.

A estas velocidades, las características del segundo controlador son tales que el perfil de la pieza de trabajo puede ser seguido de manera tan precisa como sea posible, con tal de que dicho perfil no sea irregular. Si la superficie de la pieza de trabajo incluye huecos en el material u obstáculos abruptos, habrá todavía riesgo de colisión y destrucción de la herramienta.

Con la ayuda de los dibujos, se harán evidentes otras características ventajosas de la siguiente aplicación detallada

de la invención.

La Figura 1 es un diagrama de bloques simplificado que muestra una primera realización de la máquina fresadora de descarga eléctrica.

5 La Figura 2 es un diagrama de bloques simplificado que muestra una segunda realización de la máquina fresadora de descarga eléctrica.

El diagrama de bloques de la Figura 1 muestra los símbolos para los componentes esenciales de la herramienta de máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la invención. El sistema CAD/CAM 1 y su estación de programación 2 forman una herramienta computerizada que hace posible que el operador de la máquina defina la geometría de la pieza de trabajo que va ser mecanizada y convierta una cavidad en una secuencia de capas. Cada capa es ella misma segmentada en regiones o zonas, dentro de las cuales el sistema de CAD/CAM 1 define un barrido o trayectoria programada compuesta por una secuencia de segmentos lineales. En la estación de programación 2, el operador es invitado a elegir los tipos de herramienta a ser utilizados, con sus parámetros asociados y los modos de mecanizado. Él decide sobre el espesor de las capas a ser mecanizadas y la rugosidad de la superficie terminada. De este modo, un rango de mecanizado está definido por un cierto número de archivos transmitidos al post-procesador 3. El post-procesador recibe las tablas de modo que contienen el conjunto de parámetros de mecanizado a partir de una base de datos 4 de tecnología EDM. Las trayectorias programadas y sus parámetros asociados son transmitidos al NC 5 a través del post-procesador 3, e incluyen, en particular las coordenadas del punto de llegada del segmento siguiente de trayectoria lineal a ser ejecutado. El operador controla la herramienta de la máquina con la ayuda de la estación de programación 6. El NC 5 controla los ejes motorizados 7 de la máquina; estos ejes devuelven datos de posición y velocidad al NC 5. Para una mayor simplicidad, el dibujo solo muestra tres ejes lineales X, Y, Z; sin embargo, las máquinas que incluyen, por ejemplo otros ejes de rotación pueden beneficiarse de la invención. El NC 5 también controla un dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado 8, y un cambiador de herramienta 9.

El post-procesador 3 define los parámetros del generador de fresado de descarga eléctrica 11. Para una mayor simplicidad, el dibujo no muestra la herramienta que mecaniza la pieza de trabajo, ni sus conexiones al generador de fresado de descarga eléctrica 11. Los dispositivos que hacen que la herramienta se mueva con relación a la pieza de trabajo por medio del eje motorizado 7 están también omitidos en el dibujo.

Con el fin de ejecutar la primera etapa del ciclo de control reivindicado por la invención, el primer controlador 10 recibe del generador de fresado de descarga eléctrica 11, las señales para la corriente de descarga I y el voltaje de descarga U, que son analizadas para habilitar el volumen Q erosionado por cada descarga que va ser determinado. Los valores para el volumen Q erosionado por cada descarga son preferiblemente predeterminados y almacenados en la base de datos 4 de tecnología EDM, o computados resp. calculados como una función de la corriente de descarga I y otros parámetros del proceso relevantes. En una realización de variante que no se muestra sería posible realizar dicho análisis de señal dentro del generador de fresado de descarga eléctrica 11, que sería entonces enviada a los datos Q directamente al primer controlador 10.

La segunda etapa del ciclo de control, a saber el cálculo de la distancia $S = T \cdot V_R$ recorrida por la herramienta de una descarga a la otra, se realiza mediante el primer controlador 10, utilizando los datos T y V_R que son transmitidos a ella mediante el generador de fresado de descarga eléctrica 11 y por el NC 5. El valor del tiempo T entre dos descargas sucesivas es añadido al valor precedente si la descarga que tiene lugar es un cortocircuito. El elemento de datos V_R es la velocidad real de avance de la herramienta a lo largo de su trayectoria, y está calculada por el NC 5 de acuerdo con los movimientos de cada eje motorizado.

Las siguientes etapas del ciclo de control reivindicado son también ejecutadas por el primer controlador 10. En particular, el elemento de datos de "volumen de conjunto lineal" C [m^3/m] debe ser transmitido al primer controlador 10 por el post-procesador 3 para el cálculo del error $D = C - M$ [m^3/m]. El post-procesador se puede mover desde un valor de conjunto al siguiente utilizando los datos que recibe procedentes del NC 5 cuando un segmento de la trayectoria ha sido completado. El primer controlador 10 realiza las interpolaciones necesarias entre dos valores de conjunto sucesivos.

Debido a que NC 5 está secuenciado por un reloj, el primer controlador 10 no le transmite directamente el comando de compensación de desgaste W, sino que calcula una velocidad de compensación exclusivamente positiva V_w [m/s] = $V_a \cdot W / P_T$, que el NC hace que sea ejecutada por uno o más motores, dependiendo de la arquitectura de la máquina. Para este fin, el primer controlador 10 recibe, por una parte, el elemento de datos de "intervalo de trayectoria" P_T [m] del post-procesador 3. Se debe hacer una provisión para los casos en los que P_T no es constante. El primer controlador 10 recibe el elemento de datos V_a requerido para el cálculo de V_w , procedente del segundo controlador 12. Este último asegura que el mecanizado no entre en un estado de extinción de chispa o cortocircuito, controlando la velocidad de avance V_a de la herramienta a lo largo de su trayectoria alrededor de un valor de conjunto V_c que recibe procedente del post-procesador 3. El elemento de datos T transmitido por el generador de fresado de descarga eléctrica 11 al segundo controlador 12 dice a este último si la separación de mecanizado está tendiendo a cerrarse o a abrirse, haciendo posible reducir o aumentar la velocidad de avance V_a . En esta realización, el comando de "velocidad de avance de la herramienta" V_a hace posible que el primer controlador 10 se adapte a la

velocidad de compensación de desgaste V_w de una manera correlacionada, como se ha descrito anteriormente.

Diversos valores de umbrales o tolerancias han sido mencionados. Se pueden utilizar para definir una ventana fuera de la cual la variable de error D es forzada a cero en la función de control, o para interrumpir el mecanizado con el fin de realizar medidas directas de la herramienta. Para una mayor simplicidad, los elementos de datos correspondientes no han sido mostrados en los dibujos. Claramente, estos elementos de datos se desplazan desde el post-procesador 3 al primer controlador 10, que transmite comandos de interrupción al NC 5 con el fin de hacer que este último proporcione un comando para la operación de medida de herramienta 8 si fuera necesario. Si el mecanizado tiene lugar con D fuera de dicha ventana, el primer controlador (10) interrumpe el mecanizado con la señal Int para hacer que el NC (5) ejecute un ciclo de medida de herramienta.

5
10 La Figura 2 ilustra la segunda realización de la invención; es similar a la Figura 1, con dos diferencias principales, a saber:

15 Por una parte, el comando de compensación de desgaste V_w es enviado desde el segundo controlador 12. En este caso, la velocidad V_w es positiva o negativa, y es usual para la máquina de descarga eléctrica convencional en la que el electrodo avanza y se retira con el fin de mantener el mecanizado en proceso. Esta separación de mecanizado y la compensación de desgaste son controladas de manera simultánea. La velocidad de avance a lo largo de la trayectoria V_a ya no es requerida, dado que es igual a la velocidad de conjunto V_c ; el último elemento de datos es transmitido directamente desde el post-procesador 3 al NC 5.

20 Por otra parte, el primer controlador 10, que tiene la función de calcular y transmitir un comando para reducir el error D , genera en este modo un comando ΔF para modificar la frecuencia de las descargas erosivas. El elemento de datos ΔF es por tanto enviado al generador de fresado de descarga eléctrica 11.

25 Claramente, las realizaciones y variaciones descritas anteriormente no son de ninguna manera limitativas y se pueden modificar de cualquier manera deseada dentro del campo definido por la reivindicación independiente. Por ejemplo, los comandos de velocidad o valores de conjunto se pueden sustituir por comandos de posición o valores de conjunto. Si se utilizan modos de mecanizado de energía constante, los volúmenes lineales de conjunto se pueden reemplazar por valores de conjunto expresados en números de descargas. Algunas funciones asignadas al post-procesador se pueden implementar en el NC. Algunas funciones asignadas al primer controlador se pueden distribuir en el generador EDM o en el NC, y así sucesivamente

Números de referencia en los dibujos

- 1) Generador de trayectoria de herramienta CAD/CAM
- 30 2) Estación de programación CAD/CAM
- 3) Post-procesador
- 4) Base de datos de tecnología EDM
- 5) Controlador numérico (NC)
- 6) Estación de programación de NC
- 35 7) Conjunto de ejes motorizados controlados por NC
- 8) Dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado
- 9) Cambiador de herramienta
- 10) Primer controlador
- 11) Generador EDM
- 40 12 Segundo controlador

REIVINDICACIONES

- 5 1. Máquina fresadora de descarga eléctrica que utiliza electrodos de herramienta de forma alargada y de sección transversal constante, que realiza el mecanizado en sus extremos y están sometidos a desgaste longitudinal, estando dicha máquina equipada con:
- un generador de descarga erosiva,
 - 10 - un eje de rotación con un mandril,
 - un controlador numérico,
 - un conjunto de ejes motorizados controlados por el controlador numérico,
 - 15 - un dispositivo para medir la longitud de la herramienta fuera del proceso de mecanizado,
 - un generador de trayectoria de herramienta conectado mediante interfaz con el controlador numérico, que divide la pieza de trabajo en una pila de capas sucesivas que van a ser mecanizadas y define una o más trayectorias para el barrido de la herramienta en cada capa, y
 - 20 - un post-procesador que actúa como un generador de valor de conjunto, conectado mediante interfaz con el controlador numérico o integrado en el mismo,
 - caracterizada por que el post-procesador genera un archivo de valores de conjunto C [m^3/m] equivalente al volumen lineal de conjunto que tiene que ser erosionado de la pieza de trabajo por unidad de longitud del movimiento de la herramienta en la trayectoria,
 - 25 interactuando con un primer controlador que ejecuta un ciclo de control repetitivo compuesto por al menos las siguientes etapas:
 - 30 - determinar el volumen Q erosionado por cada descarga,
 - calcular la distancia s recorrida por la herramienta de una descarga efectiva a la siguiente,
 - 35 - calcular el volumen lineal erosionado real M [m^3/m] para al menos una descarga efectiva, formando M una muestra de medida a partir de los valores Q y s ,
 - comparar dicha muestra M con el correspondiente valor de conjunto C para generar un error $D = C - M$ [m^3/m],
 - 40 - calcular y transmitir un comando mediante el controlador numérico destinado a reducir este error D durante el siguiente ciclo o ciclos.
- 45 2. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizada por que el archivo de valores de conjunto C [m^3/m] contiene al menos una secuencia de valores asociados con las abscisas curvilíneas de la trayectoria.
- 50 3. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 2, caracterizada por que el primer controlador procesa los valores de conjunto recibidos del post-procesador y puede o bien mantenerlos constantes entre dos abscisas curvilíneas sucesivas, o bien realizar una interpolación desde una abscisa curvilínea a la siguiente.
- 55 4. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizada por que el primer controlador genera un comando destinado a reducir el error $D = C - M$ [m^3/m] tan pronto como este último excede una tolerancia dada que puede ser tan pequeña como se desee.
- 60 5. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizada por que el primer controlador ejecuta al menos un ciclo de control para compensar el desgaste cuando la herramienta ha cubierto una distancia sobre la trayectoria que es más pequeña que el diámetro de rotación de herramienta, y preferiblemente más pequeña que su radio de rotación.
- 65 6. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 1, caracterizada por que el primer controlador calcula la suma de volúmenes erosionados en la pieza de trabajo $\sum Q$ sobre una parte de la trayectoria, o intervalo de trayectoria P_T [m], incluyendo al menos un ciclo de control, y produce una muestra de medida M [m^3/m] equivalente al volumen real erosionado en dicha parte de la trayectoria.

7. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 6, caracterizada por que la trayectoria de herramienta está segmentada en incrementos fijos o intervalos de trayectoria P_T [m], ejecutando el primer controlador un ciclo de control para cada intervalo de trayectoria.
- 5 8. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con las Reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que el primer controlador, en cada ciclo de control, calcula un comando de compensación de desgaste de herramienta longitudinal W [m], de manera que $W = U_o * F(M, D)$, en donde $F(M, D)$ es una función de una variable de muestra de medida M y una variable de error $D = C - M$ y en donde U_o [m/m^3] es un coeficiente llamado “desgaste de herramienta longitudinal”.
- 10 9. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 8, caracterizada por que un segundo controlador dedicado al ajuste de la separación de mecanizado controla una velocidad de avance de la herramienta V_a [m/s] en su trayectoria alrededor de un valor de conjunto V_C [m/s].
- 15 10. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con las Reivindicaciones 8 y 9, caracterizada por que el primer controlador calcula un comando similar a un comando de velocidad V_w [m/s] = $V_a * W / P_T$ destinado a compensar el desgaste de la herramienta, en el que la expresión V_a [m/s] es el comando de velocidad de avance generado por el segundo controlador, W [m] es el comando enviado por el primer controlador, y P_T [m] es el intervalo de trayectoria.
- 20 11. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 8, caracterizada por que el primer controlador calcula un valor de sustitución para el coeficiente U_o [m/m^3] utilizando un cociente $L_w / \sum Q'$, en donde L_w es la longitud de la herramienta que ha sido consumida, medida por el dispositivo para medir la longitud de herramienta fuera del proceso de mecanizado, y $\sum Q'$ es la suma de los volúmenes erosionados de la pieza de trabajo cuando la herramienta ha cubierto la parte de la trayectoria que ha resultado de dicho desgaste L_w .
- 25 12. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 8, caracterizada por que el primer controlador calcula simultáneamente, sobre una parte de trayectoria dada, tanto la suma $\sum W$ de las compensaciones W como la suma $\sum Q'$ de los volúmenes erosionados Q' , y calcula después el cociente $\sum W / \sum Q'$ que es un valor de sustitución de U_o [m/m^3].
- 30 13. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 11 o 12, caracterizada por que el primer controlador actualiza el coeficiente U_o en la reducción W [m] = $F(C, D) \cdot U_o$.
- 35 14. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 8, caracterizada por que el primer controlador fuerza la variable de error D a cero en la función $F(M, D)$ si el error D cae fuera de una ventana de tolerancia alrededor de cero, mientras que la función de control $F(M, D)$ no cambia si el error D cae dentro de dicha ventana, es decir, en un área próxima a cero.
- 40 15. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 14, caracterizada por que, si el mecanizado tiene lugar con D fuera de dicha ventana sobre una longitud de trayectoria mayor que el espacio constante de la herramienta, el primer controlador interrumpe el mecanizado con el fin de hacer que el ciclo de medida de longitud de herramienta sea ejecutado, siendo dicho espacio constante la distancia recorrida por la herramienta que produce su desgaste para dar lugar a un acortamiento igual al espesor de la capa.
- 45 16. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con las Reivindicaciones 14 y 15, caracterizada por que el primer controlador fuerza la compensación de desgaste W a cero si $M < \lim 1$ sobre una carrera mayor que P , en donde $\lim 1$ y P son magnitudes correspondientes a un riesgo de deformación de la herramienta.
- 50 17. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con las Reivindicaciones 1 a 7, caracterizada por que un segundo controlador dedicado al ajuste de separación de mecanizado ejecuta un movimiento de avance y extracción de la herramienta en una dirección próxima a su eje, proporcionando también este movimiento compensación para el desgaste de la herramienta.
- 55 18. La máquina fresadora de descarga eléctrica de acuerdo con la Reivindicación 17, caracterizada por que, de acuerdo con el valor del error D , el primer controlador envía al generador de mecanizado un comando ΔF destinado a modificar la frecuencia de las descargas erosivas, de tal manera que la frecuencia aumenta si $D > 0$ y disminuye si $D < 0$.

60

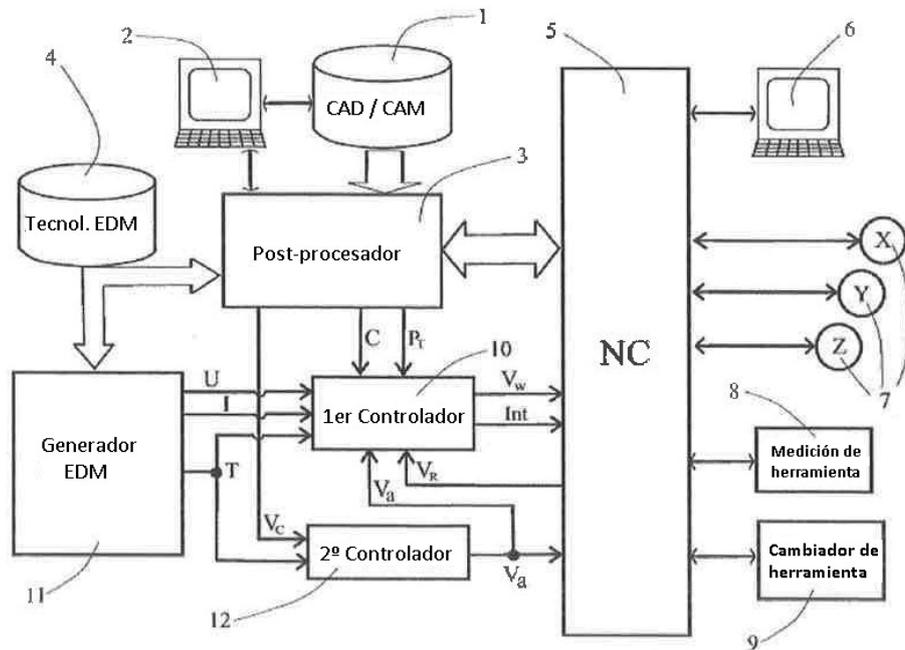


Fig.1

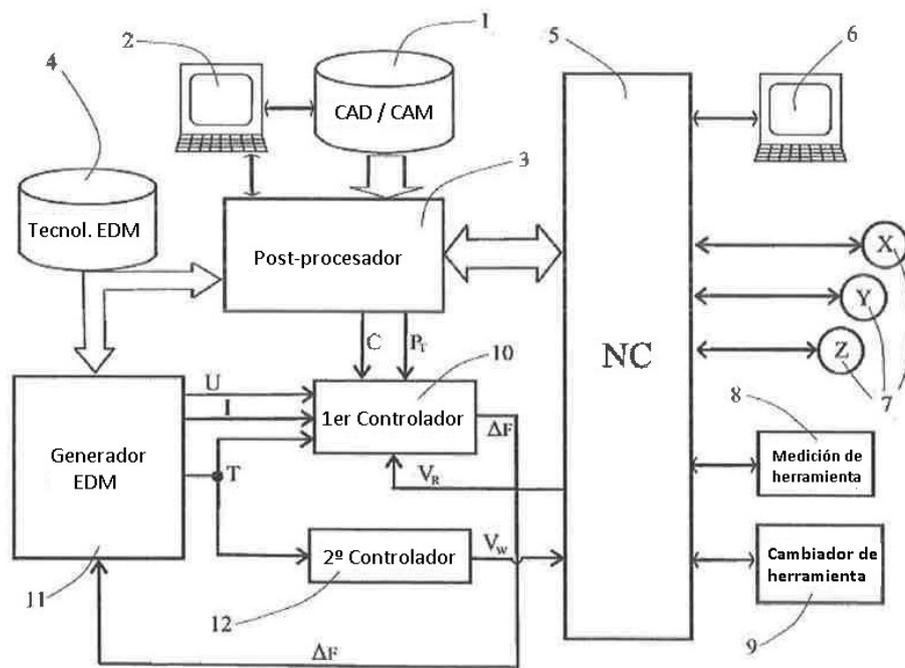


Fig.2