

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 380 919**

51 Int. Cl.:

B23H 3/02

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **02769180 .7**

96 Fecha de presentación: **23.04.2002**

97 Número de publicación de la solicitud: **1469967**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **27.10.2004**

54 Título: **Método de mecanizado electroquímico con duración de impulso de mecanizado óptima**

30 Prioridad:
08.05.2001 EP 01201664

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
21.05.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
21.05.2012

73 Titular/es:
**KONINKLIJKE PHILIPS ELECTRONICS N.V.
GROENEWOUDSEWEG 1
5621 BA EINDHOVEN, NL**

72 Inventor/es:
**ZAITSEV, Alexandr;
BEZROUKOV, Sergey;
AGAFONOV, Igor, L.;
BELOGORSKY, Aleksandr, L.;
SMIRNOV, Maxim y
ZHITNIKOV, Vladimir**

74 Agente/Representante:
Zuazo Araluze, Alexander

ES 2 380 919 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 de mecanizado electroquímico con duración de impulso de mecanizado óptima

5 La invención se refiere a un método para el mecanizado electroquímico de una pieza de trabajo eléctricamente conductora usando un dispositivo de mecanizado electroquímico que incluye un electrodo de herramienta opuesto a la pieza de trabajo a través de un hueco de mecanizado que tiene un valor predeterminado lleno con electrolito, comprendiendo el dispositivo de mecanizado electroquímico además medios para suministrar impulsos de tensión de mecanizado a través del hueco de mecanizado, en el que según el método se alterna una aplicación de un primer número de los impulsos de tensión de mecanizado de una duración óptima predeterminada a través del hueco de mecanizado con un segundo número de impulsos de tensión de medición a través del hueco de mecanizado con el fin de medir un valor real del hueco de mecanizado.

15 La invención también se refiere a una disposición para el mecanizado electroquímico de una pieza de trabajo eléctricamente conductora aplicando impulsos de mecanizado eléctrico entre la pieza de trabajo y un electrodo eléctricamente conductor mientras se suministra electrolito entre la pieza de trabajo y el electrodo, comprendiendo la disposición un electrodo, medios para colocar el electrodo y la pieza de trabajo en una relación espacial para mantener un valor predeterminado de un hueco de mecanizado entre el electrodo y la pieza de trabajo, medios para suministrar electrolito al interior del hueco, una fuente de suministro de energía que puede conectarse eléctricamente al electrodo y la pieza de trabajo para suministrar impulsos de tensión de mecanizado a la pieza de trabajo y al electrodo e impulsos de tensión de medición para medir un valor real del hueco de mecanizado, medios para generar una señal de control durante los impulsos de tensión de medición, y medios de control de procedimiento para accionar los medios para colocar el electrodo y la pieza de trabajo en una relación espacial basándose en la señal de control para mantener el valor predeterminado del hueco.

El mecanizado electroquímico es un procedimiento en el que se disuelve una pieza de trabajo eléctricamente conductora en la ubicación de un electrodo mientras se suministra electrolito y corriente eléctrica. Con este fin, se pone el electrodo en la proximidad de la pieza de trabajo y, mientras se alimenta electrolito al interior del hueco entre la pieza de trabajo y el electrolito se pasa una corriente potente a través de la pieza de trabajo y el electrodo mediante el electrolito, siendo la pieza de trabajo positiva con respecto al electrodo. La corriente se aplica en forma de impulsos de mecanizado que tienen una amplitud y duración dadas. En los intervalos entre los impulsos de mecanizado se renueva el electrolito. En las condiciones de trabajo la pieza de trabajo está disolviéndose, aumentando por tanto el valor del hueco entre la pieza de trabajo y el electrodo. Para compensar esto, el electrodo y la pieza de trabajo se mueven uno hacia el otro con una velocidad de alimentación dada, como resultado de lo cual el electrodo forma una cavidad o eventualmente un orificio en la superficie de la pieza de trabajo, teniendo la forma de la cavidad u orificio la forma correspondiente a la forma del electrodo. Este procedimiento puede usarse, por ejemplo, para realizar cavidades u orificios intrincados en, o para conformar, metales o aleaciones endurecidos. La precisión de copiado con la que la forma de la cavidad o el orificio en la pieza de trabajo corresponde a la forma del electrodo es importante para la calidad del resultado.

Se conoce un método para el mecanizado electroquímico a partir de la publicación de solicitud de patente WO 99/51382. Según el método conocido, en los intervalos entre los impulsos de mecanizado se aplican deliberadamente impulsos de pasivación para depositar capas de pasivación sobre la pieza de trabajo. Seleccionando una amplitud y duración apropiadas de los impulsos de pasivación puede controlarse la distribución espacial de la capa de pasivación. Es preferible obtener una capa de pasivación con un grosor superior en las superficies laterales de la cavidad obtenida con respecto al grosor de la capa de pasivación en la superficie frontal de la cavidad. En este caso, la velocidad de disolución en la superficie frontal será superior con respecto a las superficies laterales, lo que conduce a una mejor precisión de copiado.

El inconveniente del método conocido para mejorar la precisión de copiado es la dificultad asociada con la selección de los valores para las características de impulsos de pasivación así como dimensiones del hueco con respecto a las superficies tanto frontal como laterales de la cavidad para obtener una capa de pasivación distribuida de manera no uniforme. La formación de la capa de pasivación se ve influida por la intensidad del campo eléctrico local. Debido a las faltas de homogeneidad de campo provocadas por la curvatura del electrodo así como por las precipitaciones sobre la superficie del cátodo no es posible crear la condición de funcionamiento para una precisión de copiado óptima.

Se conoce otro método para el mecanizado electroquímico a partir del documento GB 2 074 326. El método conocido está dispuesto para determinar un valor real del hueco interrumpiendo una secuencia adecuada de impulsos de mecanizado y, en primer lugar, midiendo la resistencia eléctrica a través del hueco entre un electrodo de herramienta y la pieza de trabajo, en segundo lugar, desplazando el electrodo de herramienta con respecto a la pieza de trabajo una distancia conocida y midiendo un nuevo valor de dicha resistencia eléctrica y, finalmente, calculando un valor inicial del hueco o un nuevo valor del hueco basándose en esas mediciones.

El método conocido a partir del documento GB 2 074 326 tiene una desventaja porque un hueco lleno de electrolito

es aproximadamente como un resistor homogéneo. Esto puede no ser siempre verdad debido a la cavitación debida a los impulsos de mecanizado. Además, el método conocido no comprende medios para mejorar la precisión de copiado durante el mecanizado electroquímico.

5 Un objeto de la invención es proporcionar un método de mecanizado electroquímico con una precisión de copiado adicionalmente mejorada, en el que puede optimizarse el control del procedimiento. Para ello, el método del tipo definido en el párrafo de introducción se caracteriza porque se deriva la duración óptima de los impulsos de tensión de mecanizado a partir de un valor máximo de un coeficiente de localización para el valor predeterminado del hueco de mecanizado. Para ello, la disposición del tipo definido en el párrafo de introducción se caracteriza porque los
10 medios de control de procedimiento están dispuestos para derivar una duración óptima de los impulsos de tensión de mecanizado a partir de un valor máximo de un coeficiente de localización para el valor predeterminado del hueco de mecanizado.

15 Según la medida técnica según la invención y basándose en un conocimiento fundamental del procedimiento electroquímico en el hueco, para cada valor predeterminado del hueco hay una única duración de impulso óptima, correspondiente a la precisión de copiado local óptima. Se entiende que, por ejemplo en caso de que las cavidades adyacentes tengan diferentes profundidades respectivas, puede lograrse la precisión de copiado máxima en caso de que las eficacias de disolución local varíen sustancialmente. Tal condición de funcionamiento óptima es válida para un determinado valor del hueco. Alternando los impulsos de mecanizado con impulsos de medición es posible
20 obtener una información precisa sobre las dimensiones del hueco en línea durante el mecanizado electroquímico. En caso de que la medición de las dimensiones del hueco muestre un valor que se desvía de un valor preestablecido, es posible alterar las condiciones de funcionamiento llevando el hueco de vuelta al valor predeterminado o seleccionando otra duración de impulso de mecanizado, correspondiente a la duración de impulso óptima para el valor real medido del hueco. Es importante mencionar que, en caso de que la medición del valor del hueco se desvíe
25 de manera positiva del valor predeterminado, es preferible establecer el sistema de vuelta a las condiciones de funcionamiento óptimas reduciendo el valor del hueco de vuelta al valor predeterminado.

La invención se basa además en el conocimiento de que en caso de cavidades adyacentes el coeficiente de localización máximo, correspondiente a una razón de velocidades de disolución locales, da como resultado la
30 precisión de copiado óptima. Se entiende además que la velocidad de disolución anódica local viene dada por el valor local de la densidad de corriente, conduciendo a la conclusión de que el coeficiente de localización (L) viene dado por la razón de valores de densidad de corriente local $J(\tau, s_i)$ como función del tiempo y el valor del hueco:

$$L = \frac{J(\tau, s_1)}{J(\tau, s_2)}, \quad (1)$$

35 donde:

s_1 - es el valor del hueco correspondiente a la primera cavidad

40 s_2 - es el valor del hueco correspondiente a la segunda cavidad.

Por tanto, con el fin de calcular el valor del coeficiente de localización, es suficiente con usar la información sobre el comportamiento temporal del valor de densidad de corriente como función del hueco. A continuación se explican
45 detalles adicionales con referencia a las figuras.

Una realización del método según la invención se caracteriza porque una duración de los impulsos de tensión de medición es mayor que la duración de los impulsos de tensión de mecanizado, seleccionándose la duración de los impulsos de tensión de medición al menos suficiente para que un impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado alcance el máximo global. Esta medida técnica se basa en el conocimiento fundamental de
50 que el tiempo correspondiente al máximo global del impulso de densidad de corriente es una función del valor absoluto de la tensión aplicada y el hueco. Para un valor dado de la tensión aplicada el tiempo correspondiente al máximo global del impulso de densidad de corriente es una medida directa del valor absoluto del hueco. Tal como se explicará con detalle con referencia a las figuras, la duración de impulso óptima para los impulsos de tensión de mecanizado es más corta que el tiempo correspondiente al máximo del impulso de densidad de corriente. Por tanto,
55 la duración de impulso para los impulsos de tensión de medición debe seleccionarse de manera que se alcance el máximo global en el impulso de densidad de corriente. Conociendo las dimensiones de hueco reales a partir de una medición previa y usando la información sobre la relación entre la dimensión de hueco real y el impulso de tensión de mecanizado óptimo correspondiente, puede seleccionarse la duración del impulso de medición de manera que el impulso de densidad de corriente resultante a través del hueco alcance su máximo global. Es preferible que la polaridad de los impulsos de tensión de medición corresponda a la polaridad de los impulsos de tensión de
60 mecanizado.

Otra realización del método según la invención se caracteriza porque se corrige el valor del hueco de mecanizado en

caso de que el valor real del hueco de mecanizado se desvíe del valor predeterminado del hueco de mecanizado. Debido al hecho de que se selecciona un valor predeterminado para el hueco para alcanzar una mejor disolución y una calidad de superficie de la pieza de trabajo, es preferible corregir la desviación en el valor del hueco, en caso de que las mediciones muestren que el valor real del hueco difiere del valor predeterminado. Esta corrección del hueco puede realizarse con los medios de accionamiento de electrodo disponibles en el dispositivo de mecanizado electroquímico.

Otra realización del método según la invención se caracteriza porque se establece un intervalo entre los impulsos de tensión de mecanizado a un valor suficiente para la renovación del electrolito en el hueco de mecanizado. Según esta medida técnica, se garantiza que se recuperan completamente las condiciones de funcionamiento dentro del hueco. Se ha encontrado que para un electrolito que comprende el 5% de NaCl y las condiciones de funcionamiento de valor del hueco de 30 μm , tensión aplicada de 50 V y presión de electrolito de 300 kPa, la recuperación del valor de amplitud de la densidad de corriente se alcanza tras 300 μs , mientras que la recuperación de la forma de impulso se obtiene tras 600 μs . Se ha encontrado además que la renovación del electrolito se logra tras 600 μs , siendo el flujo de electrolito igual a 3 m/s.

Todavía una realización adicional del método según la invención se caracteriza porque se deriva el valor del intervalo entre los impulsos de tensión de mecanizado a partir de un parámetro de sistema incluyendo un valor de amplitud del impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado y un tiempo transcurrido para que el impulso de densidad de corriente alcance el valor de amplitud. Se ha encontrado que una disminución en el intervalo entre los impulsos de mecanizado conduce en primer lugar a una diferencia en las velocidades de disolución a lo largo del flujo de electrolito seguido por una creación de dos zonas separadas. En la primera zona cada nuevo impulso de mecanizado se facilita en un electrolito nuevo y en la segunda zona cada nuevo impulso de mecanizado se facilita en un electrolito calentado que comprende una fase gaseosa. Este fenómeno provoca picadura en la segunda zona, deteriorando la calidad de superficie de la pieza de trabajo. Por tanto, se concluye que con el fin de seleccionar el intervalo entre los impulsos de mecanizado es más eficaz usar un parámetro de sistema incluyendo un valor de amplitud del impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado y un tiempo transcurrido para que el impulso de densidad de corriente alcance el valor de amplitud.

Estos y otros aspectos de la invención se explicarán con referencia a las figuras.

La figura 1 presenta una impresión esquemática de los impulsos de densidad de corriente a través del hueco como función de una tensión aplicada a través del hueco.

La figura 2 presenta un circuito eléctrico equivalente para representar un circuito de descarga para una celda electroquímica.

La figura 3 presenta una comparación del impulso de densidad de corriente calculado en el hueco frente a valores medidos.

La figura 4 presenta la duración óptima del impulso de mecanizado y la posición del máximo global del impulso de densidad de corriente como funciones del valor de las dimensiones del hueco.

La figura 5 presenta las formas de los impulsos de densidad de corriente en el hueco como función del periodo de los impulsos de tensión aplicados.

La figura 6 presenta una vista esquemática de una disposición para el mecanizado electroquímico de una pieza de trabajo eléctricamente conductora.

La figura 7 presenta un esquema de bloques funcional esquemático de los medios de control de procedimiento.

Se facilitan impulsos de densidad de corriente característicos en la figura 1 para un valor de hueco fijado y diferentes valores de amplitud de impulsos de tensión rectangulares. Aumentar el valor absoluto de la tensión aplicada da como resultado un aumento del valor máximo del impulso de densidad de corriente, alcanzándose el máximo después de tiempos más cortos. Tal como se observa a partir de la figura 1, se desarrolla un extremo en el impulso de densidad de corriente, denominado además máximo global, más allá de un determinado valor del impulso de tensión aplicado. El máximo global se debe a dos fenómenos contradictorios en el hueco; en primer lugar un calentamiento intenso del electrolito y en segundo lugar un crecimiento continuo de la fase gaseosa en el electrolito. Se entiende además que el valor absoluto del máximo global del impulso de densidad de corriente se determina mediante el valor absoluto del impulso de tensión y mediante el valor del hueco. La influencia de estos dos factores es dominante para dimensiones de hueco pequeñas y altas amplitudes del impulso de tensión, por ejemplo para dimensiones de hueco en el intervalo de $s = 20\text{-}30 \mu\text{m}$ y para una tensión aplicada de aproximadamente 90 V.

La figura 2 presenta un circuito eléctrico equivalente para modelar el circuito de descarga de la celda electroquímica. En el contexto de este modelo se realizan las siguientes suposiciones:

- el electrolito es un continuo de dos fases;
- la fase gaseosa consiste en hidrógeno, que se desprende debido a la electrolisis de H;
- debido a la viscosidad de electrolito la fase gaseosa acumula una presión adicional en el hueco;
- el calentamiento del electrolito es adiabático;
- los potenciales del electrodo son constantes y son iguales a sus valores estacionarios.

10 Aplicando el conocimiento electroquímico básico, un experto en la técnica puede deducir las ecuaciones para las corrientes, tal como se indica en la figura 2:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{1}{L_c} [U + \varphi_a - \varphi_k - R_l i_1 - R_a i_2 - R_p i_4 - R_{ecm} i_1 - R_k i_6], \quad (2)$$

$$\frac{di_2}{dt} = \frac{1}{R_a C_a} (i_1 - i_2), \quad (3)$$

$$\frac{di_4}{dt} = \frac{1}{R_f C_f} (i_1 - i_4), \quad (4)$$

$$\frac{di_6}{dt} = \frac{1}{R_k C_k} (i_1 - i_6) \quad (5)$$

donde

20 U es la tensión de mecanizado aplicada;

R_{a,k} es la resistencia de Faraday equivalente de la reacción del ánodo, respectivamente del cátodo;

25 R_g es la resistencia de la capa de electrolito en el hueco;

R_f es la resistencia de la capa de óxido en el ánodo;

C_f es la capacitancia equivalente de la capa de óxido en el ánodo;

30 C_{a,k} es la capacitancia de la doble capa eléctrica del ánodo, respectivamente del cátodo;

R_c es la resistencia de los cables;

35 L_c es la inducción de los cables;

φ_{a,k} es el potencial del ánodo, respectivamente del cátodo.

Basándose en este modelo se presenta en tablas un impulso de densidad de corriente y se compara con los resultados experimentales (figura 3, curvas 1,2, respectivamente). Debido a la buena correlación del valor presentado en tablas del impulso 1 de densidad de corriente y el impulso 2 de densidad de corriente medido a través del hueco, es posible usar el modelo para la optimización del coeficiente de localización (L). A partir de la ecuación (1) puede deducirse un parámetro de pendiente K para el valor del coeficiente de localización L, dado de la siguiente manera:

$$K_L(\tau, s) = - \frac{d(J_{cp}(\tau, s))}{ds}, \quad (6)$$

45

donde

$$J_{cp}(\tau, s) = \frac{\int_0^{\tau} J(t, s) dt}{\tau} \quad (7)$$

τ - tiempo de duración para el impulso de densidad de corriente

5 $J(\tau, s)$ - función de densidad de corriente, obtenida a partir del modelo.

El parámetro de pendiente K puede usarse además para la optimización de los parámetros de procedimiento, como la duración de los impulsos de tensión de mecanizado para obtener el máximo coeficiente de localización. Por ejemplo, la duración de impulso óptima para un valor del hueco dado debe satisfacer las siguientes condiciones:

10

$$\frac{\partial K(\tau, s)}{\partial \tau} = 0; \quad (8)$$

$$\frac{\partial^2 K(\tau, s)}{\partial \tau^2} < 0 \quad (9)$$

15 Las condiciones (8) y (9) definen una curva óptima en el espacio s - t (dada por una línea continua 1 en la figura 4) sobre la que el valor del coeficiente de localización para cada combinación de s - t es máximo. Usando esta curva se obtiene la duración del impulso de mecanizado óptimo para cada determinado valor del hueco de mecanizado. Tal como se observa a partir de la figura 4 para una dimensión de hueco dada la duración impulso de mecanizado óptima, dada por la curva 1, es menor que la duración del impulso suficiente para que el impulso de densidad de corriente alcance el máximo global, dada por la curva 2. Este fenómeno se usa además en una realización de unos medios de control de procedimiento usados para una disposición de mecanizado electroquímico.

20

La figura 5 presenta las formas de los impulsos de densidad de corriente en el hueco como función del periodo de los impulsos de tensión de mecanizado aplicados. La forma del impulso de densidad de corriente resultante da información sobre la recuperación del electrolito tras una aplicación de un impulso de tensión. Se ha encontrado que una disminución en el intervalo entre los impulsos de mecanizado conduce en primer lugar a una diferencia en las velocidades de disolución a lo largo del flujo de electrolito seguido por una creación de dos zonas separadas. En la primera zona cada nuevo impulso de mecanizado se facilita en un electrolito nuevo y en la segunda zona cada nuevo impulso de mecanizado se facilita en un electrolito calentado que comprende una fase gaseosa. Este fenómeno provoca picadura en la segunda zona, deteriorando la calidad de superficie de la pieza de trabajo. Por tanto, se concluye que con el fin de seleccionar el intervalo entre los impulsos de mecanizado resulta eficaz usar un parámetro de sistema incluyendo un valor de amplitud del impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado y un tiempo transcurrido para que el impulso de densidad de corriente alcance el valor de amplitud. Para los huecos de 30 μm y una tensión aplicada de 50 V con una presión de electrolito de $P=300$ kPa, se ha encontrado que se producía una recuperación suficiente del sistema tras al menos 300 μs .

35

La figura 6 presenta una vista esquemática de una disposición 1 para el mecanizado electroquímico de una pieza 2 de trabajo eléctricamente conductora por medio de un electrodo 3. La disposición 1 comprende una base 6 para colocar una pieza 2 de trabajo, un soporte 7 para colocar un electrodo 3, y un accionador 8 para mover el soporte 7 y la base 6 uno con respecto al otro. La base 6 y el accionador 8 están montados sobre una carcasa 9 que tiene una construcción rígida para permitir establecer una distancia de trabajo entre el electrodo 3 y la pieza 2 de trabajo con una alta precisión. La disposición comprende además un depósito 10 lleno con un electrolito 5 de tal manera que el hueco 4 formado como resultado de la distancia de trabajo entre el electrodo 3 y la pieza 2 de trabajo se llena con el electrolito 5. En el presente caso el electrolito comprende NaNO_3 disuelto en agua. Como alternativa es posible usar otro electrolito, tal como por ejemplo NaCl o una combinación de NaNO_3 y un ácido. El electrolito 5 se bombea a través del hueco 4 por medio de una instalación, no mostrada en la figura. Por medio de la disposición 1 puede mecanizarse la pieza 2 de trabajo haciendo pasar un impulso de tensión de mecanizado desde una unidad 40 de suministro de energía a través del electrolito 5 en el hueco 4 mediante el electrodo 3 y la pieza 2 de trabajo. La unidad 40 de suministro de energía comprende un generador 41 de impulso de tensión y un conmutador 43 controlable. Cuando la polaridad de la tensión de mecanizado aplicada es correcta, esto da como resultado que se retire material de la pieza 2 de trabajo de su superficie y se disuelva en el electrolito 5 en la ubicación de una pequeña distancia entre el electrodo y la pieza de trabajo. La forma de la cavidad así obtenida se determina por la forma del electrodo opuesto a la misma. La disposición comprende además medios 20 de control de procedimiento para determinar la dimensión real del valor del hueco y para instalar el valor del hueco de vuelta al valor predeterminado en caso de que se produzca una desviación en el valor del hueco por un lado, y para aplicar

50

impulsos de tensión de mecanizado óptimos e impulsos de tensión de medición por otro lado. La duración de impulso de tensión que va a aplicarse al hueco por la unidad de suministro de energía se determina y se controla por los medios 20 de control de procedimiento por medio de una unidad de cálculo, no mostrada en la figura, que hace funcionar el conmutador 43.

5 La figura 7 presenta un esquema de bloques funcionales esquemático de los medios 20 de control de procedimiento. El generador 21 de suministro de energía pulsado genera impulsos de tensión de mecanizado de una duración óptima, correspondiente al valor predeterminado del hueco instalado según la figura 4. Las ventajas tecnológicas del mecanizado electroquímico mediante impulsos de tensión con una duración de microsegundos se obtienen para valores de densidad de corriente en un intervalo de entre 1000....20000 A/cm² y una duración del frente de impulso de tensión inferior a 1000 nc. Es preferible usar valores presentados en tablas de consulta previamente conocidos para la duración de impulso óptima como función del valor del hueco, almacenados en una tabla de calibración de consulta. Estos valores predeterminados pueden obtenerse como resultado del experimento de calibración para una configuración dada, o pueden calcularse usando el modelo comentado anteriormente. La duración de impulso de los impulsos de tensión aplicados se controla por la unidad 26 de control de impulsos. Para el periodo de los impulsos de tensión de mecanizado la unidad 26 de control de impulsos instala la duración de impulso de tensión óptima según los datos de la tabla de calibración de consulta. La unidad de control de impulsos hace funcionar además el conmutador del generador de suministro de energía, no mostrado en la figura. Entonces se aplican los impulsos de tensión a través del hueco 22, dando como resultado que se desarrolla un impulso de densidad de corriente a través del hueco, tal como se muestra esquemáticamente en la figura 1 para las curvas que tienen el máximo global. El impulso de densidad de corriente se detecta por una derivación 23 y se suministra a una unidad 24 de cálculo. El impulso de densidad de corriente, medido por la derivación 23, constituye una señal de control usada además en los medios 20 de control de procedimiento. Con el fin de medir las dimensiones de hueco reales se incorpora el bloque 27 de medición en los medios 20 de control de procedimiento. Este bloque determina la frecuencia de las muestras de medición. Para el intervalo de tiempo correspondiente a una muestra de medición, el bloque 27 de medición alimenta una señal a la unidad 26 de control de impulsos para aumentar la duración de los impulsos de tensión con respecto a los impulsos de tensión de mecanizado. La duración de los impulsos de tensión se selecciona por la unidad 24 de cálculo basándose en los datos de medición de hueco previos y en la información sobre el tiempo para que el impulso de densidad de corriente alcance el máximo global. Cuando se alimentan los impulsos de tensión de medición al hueco 22, se analiza el impulso de densidad de corriente correspondiente por la unidad 24 de cálculo y se determina el tiempo transcurrido real correspondiente para alcanzar el máximo global. Basándose en estos datos la unidad 24 de cálculo calcula el valor real del hueco, usando los datos de la tabla de calibración de consulta.

Los medios 24 de cálculo calculan el valor real del hueco basándose en la tabla de calibración de consulta que comprende una relación entre el valor del hueco, la duración de impulso óptima y el tiempo transcurrido para que el impulso de densidad de corriente alcance el máximo global. Los medios 24 de cálculo comparan entonces este valor con el valor predeterminado del hueco y, si se detecta una desviación, calculan el valor de corrección de hueco. Para corregir la desviación en el valor de hueco real se envía una señal de corrección por la unidad 24 de cálculo al accionador 25, determinando la distancia de trabajo entre el electrodo y la pieza de trabajo. Tras haberse completado esta operación, la unidad 26 de control de impulsos establece la duración de impulso de tensión correspondiente al valor óptimo para los impulsos de tensión de mecanizado y se continúa el mecanizado electroquímico de la pieza de trabajo. Según esta realización es posible mecanizar la pieza de trabajo con los impulsos de tensión de mecanizado óptimos lo que mejora la precisión de copiado del producto final. Debido a la posibilidad de alternar los impulsos de mecanizado con impulsos de medición es posible analizar las condiciones de funcionamiento, tales como el valor real del hueco en línea. Cualquier desviación del valor real del hueco a partir del valor predeterminado se corrige conduciendo al mecanizado de la pieza de trabajo de manera máxima en el modo óptimo. Esta característica hace posible construir un control de procedimiento automático, de la clase descrita anteriormente, con el fin de optimizar adicionalmente el control de procedimiento en línea del mecanizado electroquímico.

50

REIVINDICACIONES

1. Método para el mecanizado electroquímico de una pieza (2) de trabajo eléctricamente conductora usando un dispositivo (1) de mecanizado electroquímico que incluye un electrodo (3) de herramienta opuesto a la pieza (2) de trabajo a través de un hueco (4) de mecanizado que tiene un valor predeterminado lleno con electrolito (5), comprendiendo el dispositivo de mecanizado electroquímico además medios (40) para suministrar impulsos de tensión de mecanizado a través del hueco (4) de mecanizado, en el que según el método se alterna una aplicación de un primer número de los impulsos de tensión de mecanizado de una duración óptima predeterminada a través del hueco de mecanizado con un segundo número de impulsos de tensión de medición a través del hueco de mecanizado con el fin de medir un valor real del hueco (4) de mecanizado, caracterizado porque la duración óptima de los impulsos de tensión de mecanizado se deriva a partir de un valor máximo de un coeficiente de localización (L) para el valor predeterminado del hueco de mecanizado, en el que el coeficiente de localización (L) viene dado por la razón de valores de densidad de corriente local $J(\tau, s_i)$ como función del tiempo y el valor del hueco:

$$L = \frac{J(\tau, s_1)}{J(\tau, s_2)} \quad (1)$$

donde:

s_1 - es el valor del hueco correspondiente a la primera cavidad

s_2 - es el valor del hueco correspondiente a la segunda cavidad.

2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque una duración de los impulsos de tensión de medición es mayor que la duración de los impulsos de tensión de mecanizado, seleccionándose la duración de los impulsos de tensión de medición al menos suficiente para que un impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado alcance un máximo global.

3. Método según la reivindicación 2, caracterizado porque se determina un valor de un tiempo transcurrido correspondiente al máximo global del impulso de densidad de corriente y porque se deriva el valor real del hueco de mecanizado a partir de dicho valor.

4. Método según la reivindicación 3, caracterizado porque se corrige el valor del hueco de mecanizado en caso de que el valor real del hueco de mecanizado se desvíe del valor predeterminado del hueco de mecanizado.

5. Método según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, caracterizado porque se establece un intervalo entre los impulsos de tensión de mecanizado a un valor suficiente para la renovación del electrolito en el hueco de mecanizado.

6. Método según la reivindicación 5, caracterizado porque se deriva el valor del intervalo entre los impulsos de tensión de mecanizado a partir de un parámetro de sistema incluyendo un valor de amplitud del impulso de densidad de corriente a través del hueco de mecanizado y un tiempo transcurrido para que el impulso de densidad de corriente alcance el valor de amplitud.

7. Disposición (1) para el mecanizado electroquímico de una pieza (2) de trabajo eléctricamente conductora aplicando impulsos de mecanizado eléctrico entre la pieza (2) de trabajo y un electrodo (3) eléctricamente conductor mientras se suministra electrolito (5) entre la pieza (2) de trabajo y el electrodo (3), comprendiendo la disposición:

- un electrodo (3);

- medios (6, 7, 8, 9) para colocar el electrodo (3) y la pieza (2) de trabajo en una relación espacial para mantener un valor predeterminado de un hueco (4) de mecanizado entre el electrodo y la pieza de trabajo;

- medios (10) para suministrar electrolito (5) al interior del hueco (4);

- una fuente (40) de suministro de energía, que puede conectarse eléctricamente al electrodo (3) y a la pieza (2) de trabajo para suministrar impulsos de tensión de mecanizado a la pieza de trabajo y al electrodo e impulsos de tensión de medición para medir un valor real del hueco de mecanizado;

- medios (23) para generar una señal de control durante los impulsos de tensión de medición;

- medios (20) de control de procedimiento para accionar los medios (7, 25) para colocar el electrodo (3) y la pieza (2) de trabajo en una relación espacial basándose en la señal de control para mantener el valor predeterminado del hueco (4);

5 caracterizada porque los medios (20) de control de procedimiento están dispuestos para derivar una duración óptima de los impulsos de tensión de mecanizado a partir de un valor máximo de un coeficiente de localización (L) para el valor predeterminado del hueco de mecanizado,

10 en la que el coeficiente de localización (L) viene dado por la razón de valores de densidad de corriente local $J(\tau, s_i)$ como función del tiempo y el valor del hueco:

$$L = \frac{J(\tau, s_1)}{J(\tau, s_2)} \quad (1)$$

donde:

- 15 s_1 - es el valor del hueco correspondiente a la primera cavidad
- s_2 - es el valor del hueco correspondiente a la segunda cavidad.
- 20 8. Disposición (1) según la reivindicación 7, caracterizada porque los medios (20) de control de procedimiento comprenden medios (26, 43) de control de suministro de energía y medios (24) de cálculo para calcular un valor real del hueco (4), basándose en la señal de control.
- 25 9. Disposición (1) según la reivindicación 8, caracterizada porque una relación entre el hueco (4), la duración de impulso óptima y un tiempo transcurrido para que un impulso de densidad de corriente alcance un máximo global está disponible para los medios de cálculo en una tabla de calibración de consulta.

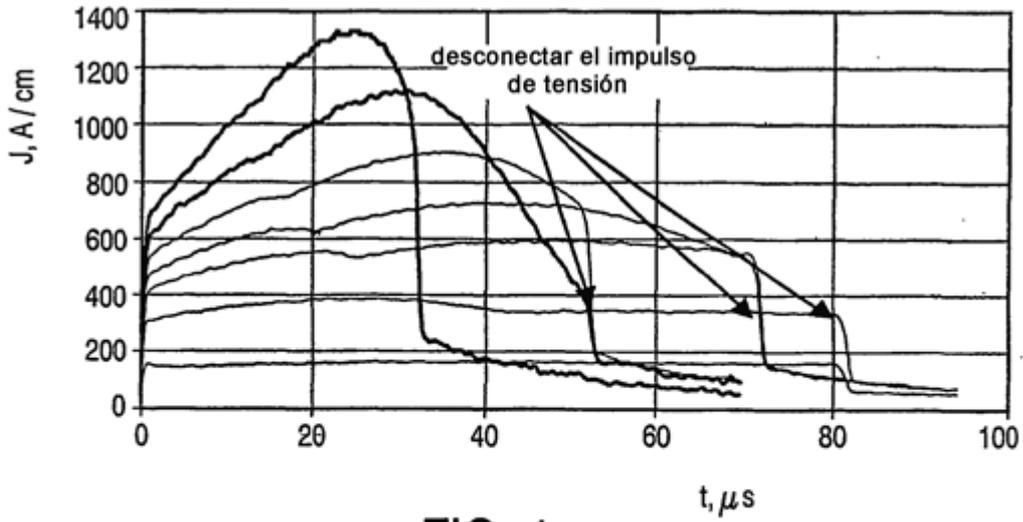


FIG. 1

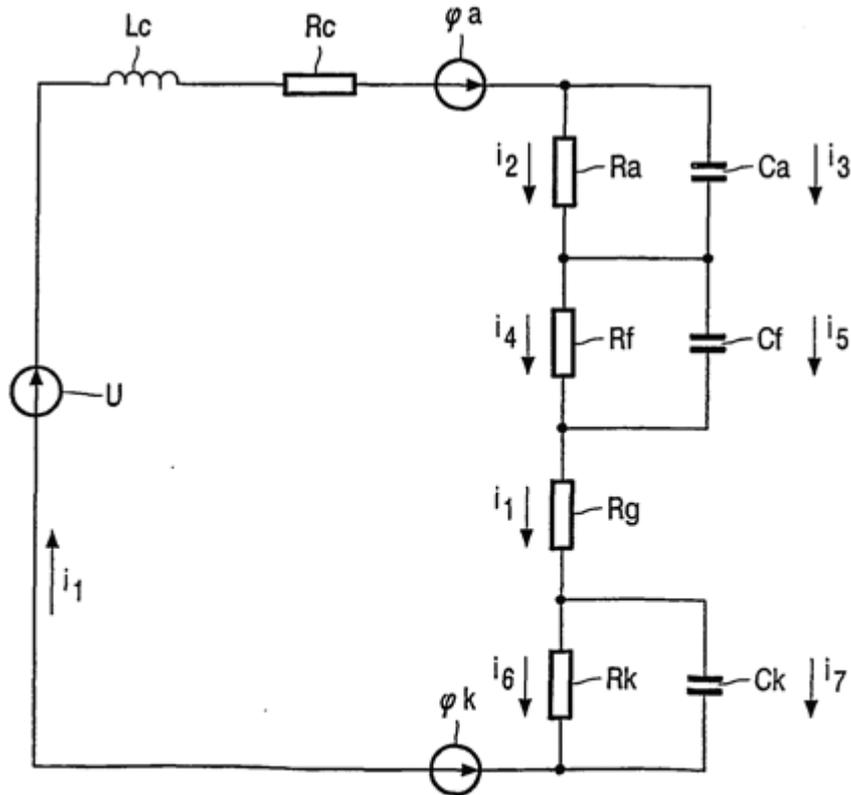


FIG. 2

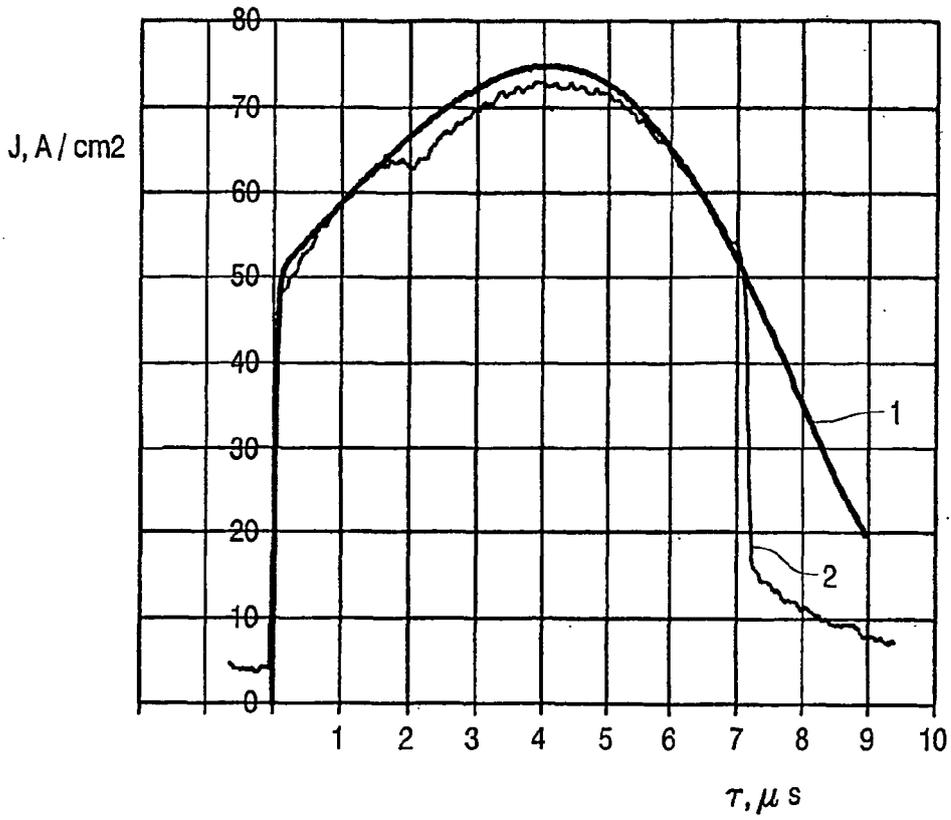


FIG. 3

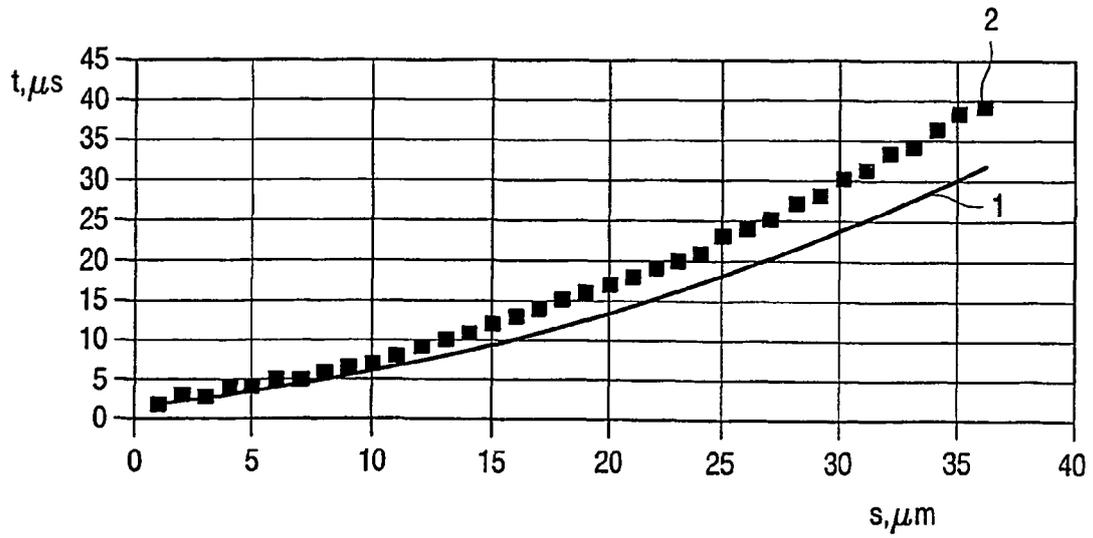


FIG. 4

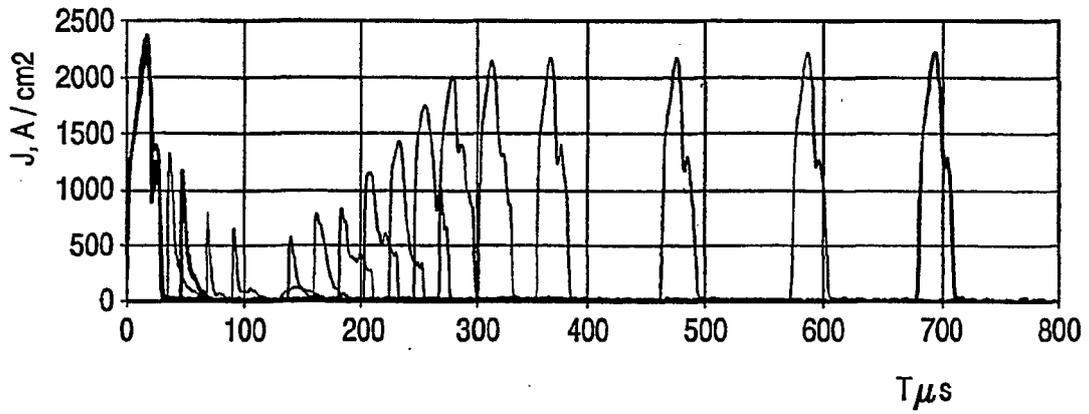


FIG. 5

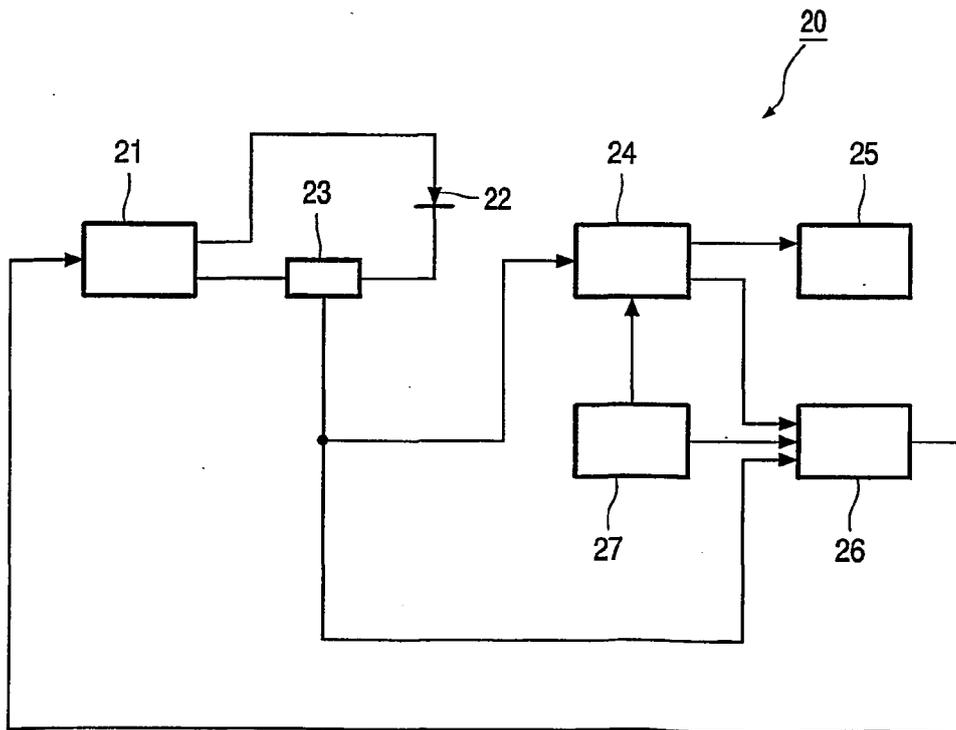


FIG. 7

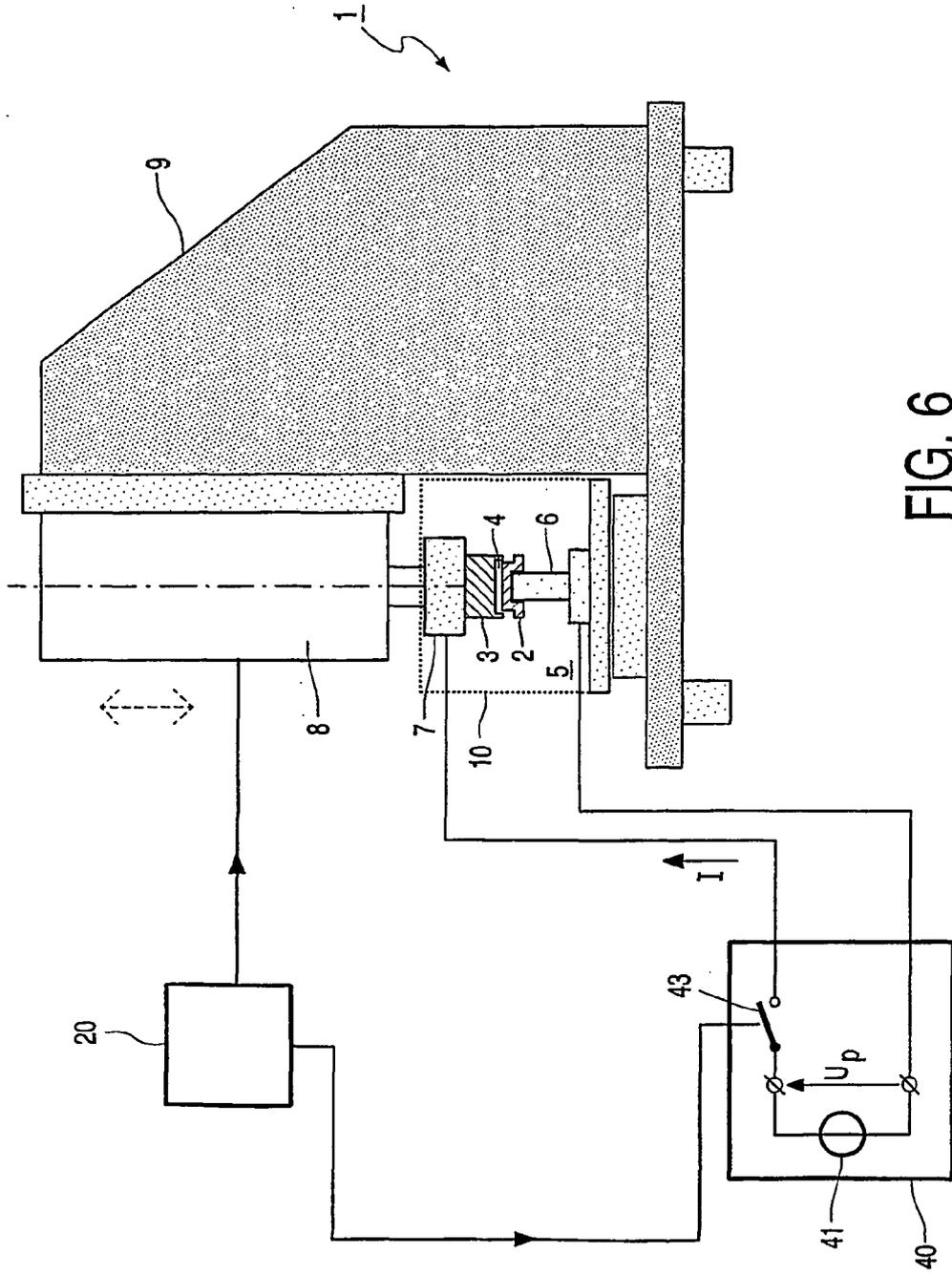


FIG. 6