

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 376 317**

51 Int. Cl.:
B23H 7/06

(2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05007377 .4**

96 Fecha de presentación: **30.03.2005**

97 Número de publicación de la solicitud: **1707293**

97 Fecha de publicación de la solicitud: **04.10.2006**

54 Título: **MÉTODO PARA MEDIR Y AJUSTAR EL ELECTRODO PARA UN MECANIZADO CÓNICO EN UNA MÁQUINA DE DESCARGA ELÉCTRICA.**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
12.03.2012

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
12.03.2012

73 Titular/es:
**Agie Charmilles SA
Via dei Pioppi 2
6616 Losone, CH**

72 Inventor/es:
**Martin, François y
Altpeter, Friedhelm**

74 Agente/Representante:
de Elizaburu Márquez, Alberto

ES 2 376 317 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín europeo de patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método para medir y ajustar el electrodo para un mecanizado cónico en una máquina de descarga eléctrica.

La presente invención se refiere a un método de medición y ajuste aplicado a un electrodo herramienta basado en un cable, que está inclinado con respecto a un eje de guía de una máquina de descarga eléctrica. Semejante método de mecanizado, comúnmente denominado mecanizado cónico, se utiliza de forma muy extendida en el campo de las máquinas de descarga eléctrica por cable. Estas máquinas están dotadas, por lo común, de un plano en el que se fija la pieza que se ha de mecanizar, o plano de asiento; con una guía de cable inferior o de fondo, movable en un plano XY paralelo al plano de asiento; y con una guía de cable superior, movable en un plano UV también paralelo al plano de asiento. La guía superior puede, además, ser movida a lo largo de un quinto eje Z perpendicular al plano de asiento. El electrodo es estirado entre las dos guías de cable con una tracción suficiente como para que se aproxime a una forma rectilínea en la zona de mecanizado. Las dos guías de cable se mueven bajo el guiado de un control numérico programado para construir superficies regladas, o generadas por una recta, de la más básica a la más compleja, que la máquina puede mecanizar con precisiones del orden de unas pocas micras. La parte activa del electrodo de cable es similar a un cilindro rectilíneo con un diámetro de entre aproximadamente 0,01 mm y 0,3 mm, y una longitud que puede extenderse desde unos pocos centímetros hasta 50 centímetros, como ejemplo.

En el documento US 4.559.601 se da una descripción de los problemas típicos presentados por los procedimientos de mecanizado cónico. Cuando el ángulo de conicidad varía en gran medida durante el mecanizado, la trayectoria seguida por la guía inferior en el plano XY es diferente de la trayectoria seguida por la guía superior en el plano UV; la una no se deduce de forma simple de la otra. En suma, la gestión correlativa del desplazamiento en una u otra de estas dos trayectorias requiere un conocimiento exacto de la posición Z de cada una de las guías con respecto al plano de asiento. En este documento se hace la suposición de que el eje del cable es similar a un segmento rectilíneo estirado entre dos guías puntiformes. No tardó en observarse que semejante simplificación es inadecuada en lo que toca al mecanizado de precisión; como se explicará más adelante en la presente memoria, deben tenerse en cuenta los esfuerzos mecánicos que deforman el cable en las inmediaciones de las guías, a fin de delimitar la parte rectilínea activa del mismo que es genuinamente utilizable en el mecanizado.

El documento US 4.736.086 ayuda a comprender el modo como las trayectorias impuestas en cada una de las dos guías por el control numérico deben ser corregidas de manera tal, que la geometría final de la pieza mecanizada sea la correcta. Para este propósito, descentramientos o desviaciones que se producen como consecuencia, sobre todo, del espacio de separación o intersticio de mecanizado, el radio del cable, su inclinación, el movimiento del punto de reposo del cable provocado por la forma redondeada de las guías en la salida, etc., se aplican a la forma final de la pieza. En particular, el movimiento del punto de reposo del cable en la guía en función de su inclinación se computa, aquí, bajo la suposición de que las guías atrapan el cable con una separación cercana a cero, son de una geometría axial perfecta y comprenden un radio de salida bien conocido –cosas, todas ellas, que no son fáciles de obtener en la práctica debido a las dificultades y a los elevados costes de garantizar unas estrechas tolerancias durante la producción de estos miembros de guía de pequeñas dimensiones de zafiro o diamante.

Por otra parte, el mismo documento describe por qué, debido a su rigidez, el cable no se adapta perfectamente a la redondez de la guía, y enseña cómo computar una corrección adicional con la ayuda de un modelo del doblamiento del cable en el dominio elástico en el que entran en juego, en particular, la tracción mecánica aplicada al cable, el momento de inercia, su módulo de elasticidad, etc. El punto débil de tal modelo es que supone que la tracción mecánica es constante a pesar de las variaciones de inclinación y de la velocidad de largado del cable, y que la separación entre las guías es conocida con antelación y es constante a pesar del desgaste.

La invención no prescinde del aporte de ciclos de medición con el fin de calibrar y recalibrar ciertos parámetros del modelo. Además, la experiencia ha demostrado que es fácil obtener una forma con simetría axial, o axisimétrica, suficientemente regular de las guía de cable. Por otro lado, obtener un radio de guiado constante es mucho más problemático; esto significa, cuando el ángulo de inclinación del cable varía, que no es posible predecir la altura real del punto de pivote con la ayuda de un modelo.

El documento US 2003/0032228 A1 divulga un tal método y un dispositivo para ajustar la perpendicularidad de un cable de una máquina de descarga eléctrica para corte con cable, con el fin de llevar a cabo un mecanizado por descarga eléctrica preciso a un bajo coste.

El documento CH 690 420 trata del uso de guías cerradas que tienen una simetría axial y se utilizan para mecanizar con grandes ángulos de inclinación del cable. El documento describe los esfuerzos infligidos al cable cuando este abandona la guía superior y cambia abruptamente de dirección. Estas tensiones pueden provocar que el cable entre en el dominio de las deformaciones plásticas. La invención enseña el radio mínimo que se ha de dar a la guía para que el cable no transporte ninguna deformación plástica en la zona de mecanizado. Puesto que el cable es largado de arriba abajo, las deformaciones plásticas provocadas por la guía inferior no tienen que tenerse en cuenta. Las precauciones recomendadas en el documento se emplean para asegurarse (véase la Figura 1) de que el cable 1 es similar a un segmento cilíndrico rectilíneo 6 de pequeño diámetro, estirado entre dos puntos de pivote W_1 , W_2 , uno de los cuales es cercano a la guía inferior 2, y el otro cercano a la guía superior 4. El problema queda entonces

limitado a identificar las posiciones Z_{w1} , Z_{w2} de dichos puntos de pivote, con lo que se hace posible, con la ayuda de métodos de computación bien conocidos, determinar las correcciones aplicables a las trayectorias de las guías 2 y 4.

5 Más particularmente, el documento CH 690 420 enseña cómo utilizar ciclos de medición automáticos para determinar las posiciones Z_{w1} , Z_{w2} con la ayuda de un ocular 8 (véase la Figura 2), cuyo cable busca el centro en dos alturas de la guía de cable superior, Z_{min} y Z_{max} . A la altura Z_{min} , el cable está inclinado en una primera dirección en un ángulo β y, a continuación, a la altura Z_{max} , está inclinado en una segunda dirección opuesta en un ángulo α que será necesario que sea igual a β para que la fórmula propuesta dé un resultado exacto. Desgraciadamente, con este método, para asegurarse de que $\alpha = \beta$, será necesario conocer las posiciones exactas de las guías y las de los puntos de pivote; en la Figura 2, estos últimos se han representado como coincidentes con las guías. Debido a este conocimiento inadecuado, el procedimiento comienza, por lo tanto, con datos aproximados que son corregidos progresivamente en el curso de varias iteraciones de la computación. El tiempo perdido es aceptable si se han de calibrar una o dos inclinaciones del cable; sin embargo, en el caso de que sea necesario preparar un procedimiento de mecanizado que comprenda muchos valores del ángulo de conicidad, el ciclo completo de las iteraciones ha de ser repetido para cada valor de inclinación del cable, por lo que se produce una considerable pérdida de tiempo.

10 Hay otras desventajas que añadir a la falta de efectividad del método para calibraciones de múltiples ángulos:

- el plano de base del ocular de medición debe disponerse, primeramente, paralelo al plano de asiento;
- el cable debe ajustarse, en primer lugar, perpendicular al plano de asiento;
- el centro del ocular debe, en cada etapa, ser de nuevo identificado por una serie de aproximaciones transversales o cruzadas;
- 20 - es necesario determinar si las aproximaciones tienen lugar en el tope superior del ocular o en su tope inferior;
- al principio, el conocimiento inadecuado de la posición exacta de las guías y de los puntos de pivote conlleva el riesgo de colisiones con el ocular, en relación con los movimientos verticales del eje Z.

25 Todos estos factores significan que el método de medición no es muy fiable, es innecesariamente complejo y costoso en tiempo de ejecución.

30 Por último, para que el método en cuestión sea aceptable, debe suponerse que las guías tienen una forma perfectamente simétrica y que sus ejes de simetría son paralelos a la dirección Z. Con un cierto grado de precisión, dicha hipótesis debe ser abandonada por al menos dos razones. En primer lugar, nada garantiza (véase la Figura 3) que los ejes de simetría 3 y 5 de las guías sean paralelos a Z. El eje Z' de la Figura 3 representa la posición del cable idealmente dispuesto de manera que es perpendicular al plano de asiento o paralelo al eje Z. Entonces, los dos contactos de mecanizado 15 y 16 transmiten a través de las guías un defecto que tiende a desviar el cable fuera de alineación en su porción activa, con lo que se altera la posición de los puntos de pivote W_1 , W_2 . Esto demuestra la importancia de identificar los puntos de pivote no solo como función de la inclinación ΔUV del cable, sino también, para cada valor de ΔUV , como función de la dirección en el plano UV de dicha inclinación; el término $\overrightarrow{\Delta UV}$ se utilizará en lo sucesivo para designar una inclinación del cable orientada en un plano UV.

35 La Figura 4 ilustra un método similar que se utiliza de forma rutinaria, el cual se menciona, por ejemplo, en los documentos US 5.003.147 o US 5.006.691 y que emplea un dispositivo de calibre mecánico que comprende dos contactos o topes de referencia 7, 8, situados uno encima de otro, exactamente alineados en un plano perpendicular al plano de asiento y de los cuales se conoce la exacta diferencia de alturas H. Inclinando el cable en una de las direcciones y, a continuación, en la otra con respecto a la vertical, se contacta con uno u otro de estos topes de referencia.

La operación habitualmente se lleva a cabo en 7 etapas designadas de <1a> a <7a> en la Figura 4.

Etapas <1a>: el cable se ajusta perfectamente perpendicular al plano de asiento.

Etapas <1b>: el cable se pone en contacto con los dos topes 7 y 8.

45 Etapas <3a>: regresar a aproximadamente la posición <1a> para poder inclinar el cable sin riesgo de colisión.

Etapas <4a>: el cable se inclina hacia la izquierda al realizar un movimiento $-\Delta UV$.

Etapas <5a>: el cable se lleva a contacto con el tope 8. La posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada.

Etapas <6a>: el cable se inclina hacia la derecha al efectuar un movimiento $+\Delta UV$ desde su posición vertical.

Etapas <7a>: el cable se lleva a contacto con el tope 7. La posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada.

Si el cable está, efectivamente, vertical al comienzo de la operación, entonces los triángulos JKL y IKM son semejantes y es posible computar las distancias D_1 y D_2 que se utilizarán para averiguar la altura de cada uno de los dos puntos de pivote con respecto al plano de fijación. Estos resultados D_1 y D_2 obtenidos por tres aproximaciones en $\langle 2a \rangle$, $\langle 5a \rangle$ y $\langle 7a \rangle$ dependen, a priori, únicamente de la precisión de las aproximaciones contra los dos topes de referencia y de la precisión de la dimensión H; estas precisiones son, por lo común, del orden de una micra. Sin embargo, cuando el cable se encuentra próximo a la vertical, no es posible determinar con certeza si los dos topes de referencia contactan con el cable al mismo tiempo, o sólo lo hace uno u otro. De acuerdo con ello, es necesario instalar el dispositivo de medición ciertamente perpendicular al plano de asiento, a fin de ajustar el cable, si es posible, tanto paralelo a los dos topes de referencia como perpendicular al plano de asiento. Estas operaciones siguen siendo largas y complicadas. De nuevo, es, por tanto, necesario tener en cuenta las incertidumbres relativas a esto último para valorar la precisión de los resultados y corregirlos. Finalmente, como en el dispositivo y el método precedentes, el cable tiene que ser inclinado en dos direcciones opuestas con el fin de computar las alturas de los puntos de pivote vinculadas a un valor de inclinación ΔUV ; esto es aceptable a condición, únicamente, de que cada una de las dos guías comporte una simetría axial perfecta, como ya se ha mencionado anteriormente en la presente memoria.

El propósito de la presente invención es superar los puntos flacos y eludir las desventajas de los métodos conocidos que se han explicado en lo anterior, al proponer un método y un dispositivo que son más fáciles de utilizar y que hacen posible establecer rápidamente una serie de mediciones de inclinación de un cable en varias direcciones del plano UV.

La invención se basa en las dos observaciones siguientes.

En primer lugar, cuando el cable está cerca de la posición vertical, los puntos de pivote W_1 , W_2 coinciden con la línea ideal que une los centros de las dos guías de cable, lo que justifica el uso de la computación de los triángulos semejantes ABC, QRU y QST característicos de la Figura 6. La aproximación es válida hasta un límite de 1 grado con respecto a la vertical para cables de acero relativamente rígidos. Para, por ejemplo, cables de material de base de cobre, más blandos, este límite se situará en 5 grados. De esta forma, se hace posible prescindir de la necesidad de comenzar las mediciones con un cable perfectamente vertical, y los resultados se hacen insensibles a las incertidumbres sobre la verticalidad del cable al comienzo.

A continuación, conocer la altura de los puntos de pivote W_1 , W_2 es equivalente a determinar el punto de intersección entre dos líneas rectas que llegan a estar prácticamente paralelas cuando el ángulo de conicidad tiende a cero; por ejemplo, la determinación de la altura del punto de intersección W_2 entre el eje del segmento 6 de la Figura 1 y la vertical 5. Para una inclinación de aproximadamente 2 grados del segmento 6, la incertidumbre con respecto al conocimiento de la altura de los puntos de pivote W_1 , W_2 es del orden de una décima de milímetro. En principio, esta incertidumbre tiende a infinito cuando el ángulo tiende a cero. Sin embargo, para ángulo de menos de 1,7 grados, esta incertidumbre causa una incertidumbre de solo menos de 3 micras en posiciones medidas en paralelo con el plano de asiento.

Las realizaciones de la invención se describirán con referencia a las figuras:

La Figura 1 es una vista esquemática en perspectiva de dos guías de simetría axial que se utilizan para mecanizar con un cable fuertemente inclinado cuya zona rectilínea activa está situada entre dos puntos de pivote W_1 , W_2 .

La Figura 2 ilustra un dispositivo de la técnica anterior, provisto de un ocular y que se utiliza para llevar a cabo ciclos de medición mediante la inclinación del cable en dos direcciones opuestas α y β .

La Figura 3, similar a la Figura 1, muestra las desventajas que la invención se propone corregir; defectos de simetría axial de las guías; defectos de verticalidad de los ejes de las guías; influencia de los contactos de mecanizado en la zona de mecanizado. La Figura 3 muestra cómo inclinar el cable en todas las direcciones del plano UV.

La Figura 4 ilustra otro método de la técnica anterior y su dispositivo de calibre mecánico, el cual requiere un cable perfectamente vertical al comienzo de las mediciones.

La Figura 5, similar a las Figuras 1 y 3, ilustra brevemente los elementos que constituyen la invención.

La Figura 6 es una proyección sobre un plano de todos los movimientos del cable durante las operaciones de medición y ajuste que forman parte de una primera realización de la invención.

La Figura 7 es una representación imaginaria en perspectiva de la transformación geométrica utilizada para pasar del primer dispositivo de la invención a un dispositivo de medición en múltiples direcciones.

La Figura 8 ilustra el principio de un dispositivo de múltiples direcciones de acuerdo con la invención, que se utiliza para tomar una medición en cualquier orientación $\overline{\Delta UV}$ dentro del plano UV.

Para comprender la invención, deben tomarse en consideración los elementos principales, reales o virtuales,

ilustrados por la Figura 5; estos son:

- una guía de cable de fondo o inferior 2, movable en un plano de coordenadas XY,
- una guía de cable superior 4, movable, por una parte, en un plano de coordenadas UV paralelo a XY; la misma guía 4 de cable puede, por otra parte, ser movida en una dirección vertical Z, el indicador de altura, y perpendicular a los planos XY y UV,
- un plano P, definido por el eje F, que simboliza la posición real del cable al comienzo, cerca de la vertical, y por el vector de inclinación $\overrightarrow{\Delta UV}$; este plano P está destinado a contener el eje de la sección rectilínea inclinada 6 del cable, destinada a mecanizar con diferentes valores del ángulo de conicidad,
- dos contactos o topes de referencia (7, 8), cada uno de los cuales está contenido en un plano XY con dos alturas conocidas diferentes z_1, z_2 . Los dos topes de referencia están descentrados uno con respecto al otro en una dirección XY, de tal manera que es posible insertar el cable vertical entre los dos sin hacer contacto con uno u otro.

El cable puede entonces contactar, sucesivamente y por separado, con uno u otro tope durante un único movimiento \vec{v} en el plano P; este movimiento puede hacerse independientemente por una de las guías de cable o simultáneamente por las dos. Por movimiento simultáneo de ambas guías debe entenderse que cada una de ellas realiza el mismo movimiento y al mismo tiempo.

La colocación del cable entre los dos topes de referencia hace posible, como se verá más adelante en la presente memoria, pasar por las diversas etapas del procedimiento con una rapidez que los métodos conocidos de la técnica anterior no consiguen, debido a que la capacidad de llevar estos topes de referencia más cerca uno del otro en una dirección XY hace posible acortar los movimientos a un mínimo y, por tanto, ahorrar tiempo de ejecución.

Se describirán en detalle, con la ayuda de la Figura 6, una primera realización de la invención. La Figura 6 es una proyección sobre el plano P de los movimientos del cable durante las operaciones de medición y ajuste. El dispositivo utilizado consiste en un simple bloque de metal rectificado 9 de una altura H que se conoce con precisión. Es esencial que las caras superior e inferior o de fondo de este bloque sean paralelas y que el bloque esté asido sin separación alguna sobre el asiento de trabajo. Los dos topes de referencia, el uno situado a la altura de la cara inferior, el otro a la altura de la cara superior del bloque 9, están soportados por dos contactos o topes biselados rígidos 7 y 8, fijados al bloque 9, de tal manera que dichos topes 7 y 8 se extienden en el exterior del bloque 6, hacia el frente de la figura. No es necesario tomar ninguna precaución adicional para instalar estos topes 7 y 8, a excepción de que debe ser posible insertar el cable, aproximadamente vertical, entre uno y otro de tal manera que no entre en contacto con ninguno de los dos topes de referencia, a fin de pueda hacer contacto con uno u otro por separado mediante un único movimiento, y de que el punto de contacto se encuentre a la altura de una u otra de las caras paralelas del bloque 9.

La operación progresa en 7 etapas designadas de <1b> a <7b> en la Figura 6.

Etapas <1b>: el cable cercano a la vertical es llevado entre dos topes de referencia de tal manera que no está en contacto ni con uno ni con otro.

Etapas <2b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a contacto con el tope de referencia superior o alto 8. La posición xy_1 alcanzada es medida y almacenada.

Etapas <3b>: mediante un movimiento independiente de la guía superior 4, el cable es inclinado hacia el tope de referencia inferior o bajo 7, al realizar un movimiento $-\Delta UV$.

Etapas <4b>: mediante un movimiento simultáneo de las dos guías, el cable es llevado de nuevo a contacto con el tope de referencia alto 8. La posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada.

Etapas <5b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a contacto con el tope de referencia bajo 7. La posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada.

Etapas <6b>: mediante un movimiento independiente o por separado de la guía superior 4, el cable es llevado de nuevo hacia la posición vertical al realizar un movimiento $+\Delta UV$.

Etapas <7b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado de nuevo a contacto con el tope de referencia inferior 7. La posición xy_4 alcanzada es medida y almacenada.

Durante la fase preparatoria que se ha descrito en lo anterior, se han efectuado 4 aproximaciones. Esto puede considerarse menos eficiente que el método ilustrado en la Figura 4, en el que son necesarias 3 aproximaciones. Se verá en lo que sigue que, durante el transcurso de una serie de inclinaciones en aumento, son suficientes 2 toques o contactos para cada valor de inclinación.

El propósito de la operación es computar las distancias D_1 y D_2 que se utilizarán para averiguar las alturas Z_{w1} , Z_{w2} de cada uno de los dos puntos de pivote W_1 , W_2 con respecto al plano de asiento.

De la observación de los triángulos semejantes ABC y QRU y los paralelogramos ABCD y QURV se sigue que:

$$BC/D_1 = UR/(D_1 + H) \text{ es equivalente a: } \frac{\|xy_3 - xy_4\|}{D_1} = \frac{\|xy_2 - xy_1\|}{D_1 + H}$$

$$5 \quad \text{De la que puede deducirse: } D_1 = H \frac{\|xy_3 - xy_4\|}{\|xy_2 - xy_1\| - \|xy_3 - xy_4\|}$$

Ha de recordarse aquí que estas operaciones son posibles debido a que, en <2b>, <6b> y <7b>, al estar el cable cerca de la posición vertical, los puntos de pivote W_1 , W_2 coinciden con la línea ideal que une los centros de las dos guías de cable.

De la observación de los triángulos semejantes QRU y QST, se sigue que:

$$10 \quad UR/(D_1 + H) = TS/D_2 \text{ es equivalente a: } \frac{\|xy_2 - xy_1\|}{D_1 + H} = \frac{\Delta UV}{D_2}$$

$$\text{De la que puede deducirse: } D_2 = \frac{(D_1 + H)\Delta UV}{\|xy_2 - xy_1\|}$$

A continuación, el procedimiento prosigue con una serie de inclinaciones crecientes mediante la repetición de las etapas <2b>, <3b>, <4b> y <5b> de acuerdo con el siguiente modelo simplificado, permaneciendo inalteradas las posiciones xy_1 y xy_4 .

15 Etapa <2b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a contacto con el tope de referencia alto 8.

Etapa <3b>: mediante un movimiento independiente de la guía 4, el cable es inclinado más acusadamente hacia el tope de referencia bajo 7 al efectuar un movimiento $-\Delta UV$ mayor que el anterior.

20 Etapa <4b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado de nuevo a contacto con el tope de referencia alto 8. Una nueva posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada.

Etapa <5b>: mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a contacto con el tope de referencia bajo 7. Una nueva posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada.

En correspondencia con cada nuevo valor de inclinación ΔUV , se realizan las computaciones de D_1 y D_2 de acuerdo con las fórmulas anteriores.

25 El lector apreciará que en la etapa <2b>, al comienzo, mediante un movimiento simultáneo de las guías, la elección es llevar el cable a contacto con el tope de referencia alto 8 y no con el tope de referencia bajo 7. Evidentemente, esta elección no es necesaria. El contacto con la referencia baja 7 en la etapa <2b> conduce, evidentemente, a una secuencia similar de movimientos que no se dará en detalle para no complicar en exceso la explicación.

30 La tabla de resultados que sigue se obtuvo en menos de 10 minutos e ilustra una serie de medidas tomadas con un cable de latón blando de 0,25 mm de diámetro, sometido a una tracción mecánica de 1,3 daN y que es largado a una velocidad de 8 mm/min. Habiéndose ajustado la distancia de las guías de cable 2 y 4 en aproximadamente 75 mm, la diferencia de alturas entre los topes de referencia 7 y 8 es 40 mm. Se aplicaron una serie de inclinaciones crecientes ΔUV ; se computaron las distancias D_1 y D_2 de acuerdo con las fórmulas anteriores; y el ángulo de conicidad efectivo de la parte activa del cable se obtuvo utilizando la siguiente fórmula:

$$35 \quad \text{Ángulo} = (180/\pi) \cdot \text{Arctan} (\Delta UV/D_2)$$

ΔUV	D ₁ [mm]	D ₂ [mm]	Ángulo [grados]
2,8	16,02	75,44	2,12
5,7	16,02	75,42	4,32
8,6	16,01	75,39	6,50
11,5	16,01	75,36	8,67
14,4	15,99	75,33	10,82
17,4	15,96	75,25	13,01
20,4	15,87	75,06	15,20
23,5	15,78	74,86	17,42
36,6	15,69	74,72	19,59
29,9	15,62	74,53	21,85
33,2	15,55	74,35	24,06
36,7	15,44	74,12	26,34
40,3	15,33	73,93	28,59
44,1	15,16	73,69	30,89

5 En el método propuesto en lo anterior, el dispositivo de medición es extremadamente simple y rápido de instalar. No es necesario ajustar la perpendicularidad de los topes de referencia con el plano de fijación. Las placas que sirven de topes de referencia pueden ser fijadas en cualquier lugar de las caras inferior y superior del bloque rectificadas. Ni siquiera es necesario que estas sean paralelas entre sí porque la única dimensión importante de esta disposición es la diferencia H de alturas entre los dos puntos de contacto del cable. La disposición, en sí misma, introduce como incertidumbre en los resultados únicamente el error de paralelismo del bloque rectificadas.

10 Durante las operaciones descritas anteriormente en la presente memoria, un cable se pone en contacto con un tope de referencia. Al ser tanto el cable como el tope de referencia conductores de la electricidad, se hace uso generalmente de un dispositivo para detectar la interferencia, o el contacto del cable con el tope, conocida por los expertos de la técnica como un "contacto eléctrico" que detecta una tensión o un umbral de corriente, da instrucciones para el almacenamiento de la posición alcanzada y, cuando es necesario, da instrucciones para la inmediata detención del movimiento. La interferencia o interposición entre un cable y cualquier posición geométrica puede conseguirse, evidentemente, por otros medios conocidos de que se disponga. Por ejemplo, el tope de referencia de metal puede ser reemplazado por una cortina de luz, un estrecho haz de luz de láser, una línea de mira óptica, etc. En estos casos, la detención del movimiento es opcional y, en un sentido más general, se detectará la intersección entre un cable y una referencia geométrica lineal contenida en un plano XY.

15 Para obtener un único par de resultados, el cable no tiene que ser inclinado en dos direcciones opuestas. Esto permite la posibilidad de diseñar dispositivos y métodos para distinguir pares diferentes de puntos de pivote (W_1, W_2) para una misma inclinación, en dos direcciones opuestas.

20 Generalmente, la invención puede ser utilizada para diseñar, con referencia a la Figura 3, dispositivos para identificar el par de puntos de pivote (W_1, W_2) vinculados a un vector de inclinación $\overrightarrow{\Delta UV}$ de cualquier orientación en el plano UV.

25 La Figura 7 puede ser utilizada para conceptualizar tal dispositivo de medición en múltiples direcciones, o multidireccional, que constituye una segunda realización de la invención. Para ello, imagínese un eje Z'' paralelo a Z a través de uno u otro de los dos topes rígidos 7 y 8. El eje Z'' se ha situado, por ejemplo, en la Figura 7 a través del contacto bajo 7 que soporta el tope de referencia bajo. Haciendo rotar el contacto alto 8 y el contacto bajo 7 alrededor de este eje Z'', se genera un sólido con simetría axial similar al representado en la Figura 8, en la que se han representado dos contactos de referencia bidimensionales 10 y 11. El contacto bajo 10 está fijado a la cara inferior o de fondo del bloque 9 por medio de un brazo 12. El contacto alto 11 tiene la forma de un anillo que está prolongado por un elemento de fijación plano 13 sobre la cara superior del bloque 9. El cable puede ser insertado en el dispositivo a través de una estrecha abertura 14. Esta última abertura es opcional porque el cable puede ser

también insertado en el dispositivo manualmente o por medio de un ciclo de enroscamiento automático.

Se comprende claramente que la Figura 8 es un diagrama esquemático destinado a explicar la invención, y que los elementos 10 y 11 deben hacerse lo suficientemente rígidos como para que los topes de referencia sigan extendiéndose, respectivamente, en los planos de las caras paralelas que constituyen la base 9 del dispositivo.

- 5 Con el fin de poder llevar a cabo la misma secuencia de movimientos que se ha representado en la Figura 6, debe disponerse que, para cualquier orientación, el vector de inclinación $\overrightarrow{\Delta UV}$ pase por un punto M del eje Z". Ha de apreciarse que este último punto M no tiene por qué haberse definido con gran precisión, al ser su propósito que las aproximaciones se realicen aproximadamente en perpendicular con los topes de los contactos de referencia, en más o menos 15 grados.
- 10 Nótese que el dispositivo escogido como ejemplo en la Figura 8 comprende topes de sección cuadrada que sirven como contactos de referencia, o, en otras palabras, que los topes biselados de los contactos 7 y 8 que se observan en las Figuras 5 y 6 han desaparecido. Semejante simplificación no perjudica la precisión de los resultados, ya que, si se siguen las etapas de la secuencia representadas en la Figura 6, las aproximaciones se llevarán a cabo ya sea sobre el tope inferior del contacto alto 11, ya sea sobre el tope superior del contacto bajo 10, y por tanto, a las
- 15 alturas z_2 , z_1 que corresponden, respectivamente, bien a la cara superior o bien a la cara inferior del bloque 9.

REIVINDICACIONES

1.- Un método para medir y ajustar un electrodo de cable que se utiliza durante procedimientos de mecanizado cónico en una máquina de descarga eléctrica que utiliza:

- 5 - medios para mover los ejes de la máquina y para medir sus posiciones,
- medios para detectar una interferencia o interposición entre el cable y unas referencias geométricas (7, 8),
- una guía (2) de cable inferior o de fondo, movable en un plano de coordenadas XY,
- una guía (4) de cable superior, movable, por una parte, en un plano de coordenadas UV paralelo al plano XY y movable, por otra parte, en una dirección vertical Z, el indicador de alturas, perpendicular a los planos XY y UV, con un plano P definido por el eje del ajuste del cable cercano a la vertical y por un vector de inclinación $\overrightarrow{\Delta UV}$ contenido en un plano UV,
- 10 - unas referencias geométricas superior e inferior (7, 8), cada una de las cuales se extiende en un plano XY con dos alturas diferentes (z_1, z_2), intersecado por el cable sucesivamente y por separado durante un movimiento (\vec{v}) en el plano P, siendo este movimiento susceptible de ser realizado independientemente por una de las guías de cable o simultáneamente por las dos, caracterizado por que utiliza, para un primer vector $\overrightarrow{\Delta UV}$ de inclinación del cable, la siguiente secuencia de operaciones, en 7 etapas:
- 15 - el cable cercano a la vertical es llevado entre las referencias geométricas (7, 8),
- mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a interferencia con la referencia superior (8), o, respectivamente, con la referencia inferior (7). La posición xy_1 alcanzada es medida y almacenada,
- 20 - mediante un movimiento independiente o por separado de la guía superior, el cable es inclinado hacia la referencia inferior (7), al realizar un movimiento $-\Delta UV$, o, respectivamente, hacia la referencia superior (8) al realizar un movimiento $+\Delta UV$,
- mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado de nuevo a interferencia con la referencia superior (8), o, respectivamente, con la referencia inferior (7). La posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada,
- 25 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado a interferencia con la referencia inferior (7), o, respectivamente, con la referencia superior (8). La posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada,
- mediante un movimiento independiente de la guía superior 4, el cable es llevado de nuevo hacia la posición vertical al realizar un movimiento $+\Delta UV$, o, respectivamente, $-\Delta UV$.
- 30 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable es llevado de nuevo a interferencia con la referencia inferior (7), o, respectivamente, con la referencia superior (8). La posición xy_4 alcanzada es medida y almacenada.

2.- Un método para medir y ajustar un electrodo utilizado durante el mecanizado cónico por descarga eléctrica, de acuerdo con la reivindicación 1, cuyo propósito es computar, por una parte, la diferencia de alturas D_1 entre el punto de pivote inferior (W_1) del cable y el tope de la referencia inferior (7), y, por otra parte, la diferencia de alturas (D_2) entre los dos puntos de pivote, el inferior (W_1) y el superior (W_2), del cable, siendo D_1 y D_2 funciones de la inclinación del cable, caracterizado por que se sirve de las siguientes fórmulas:

$$D_1 = H \frac{\|xy_3 - xy_4\|}{\|xy_2 - xy_1\| - \|xy_3 - xy_4\|}$$

$$D_2 = \frac{(D_1 + H)\Delta UV}{\|xy_2 - xy_1\|}$$

en las cuales H es la diferencia de alturas entre las dos referencias geométricas (7, 8).

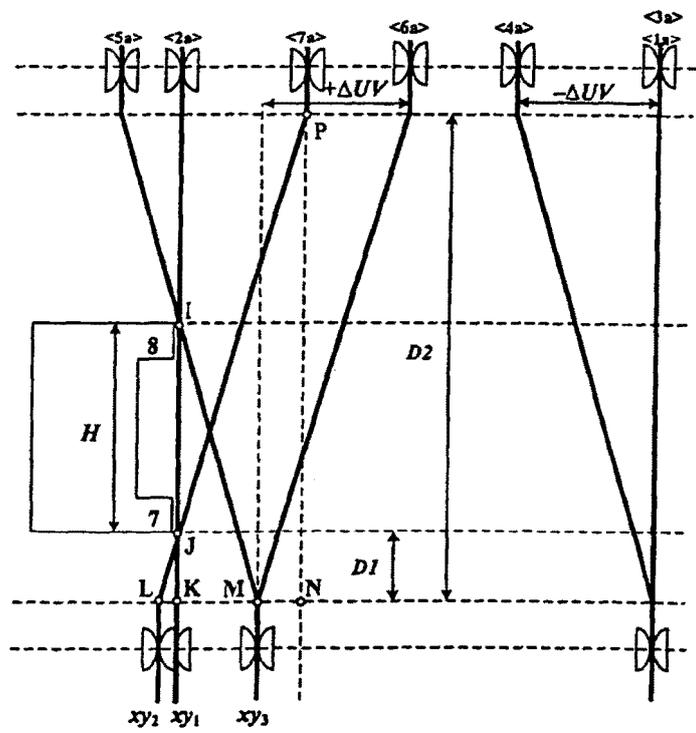
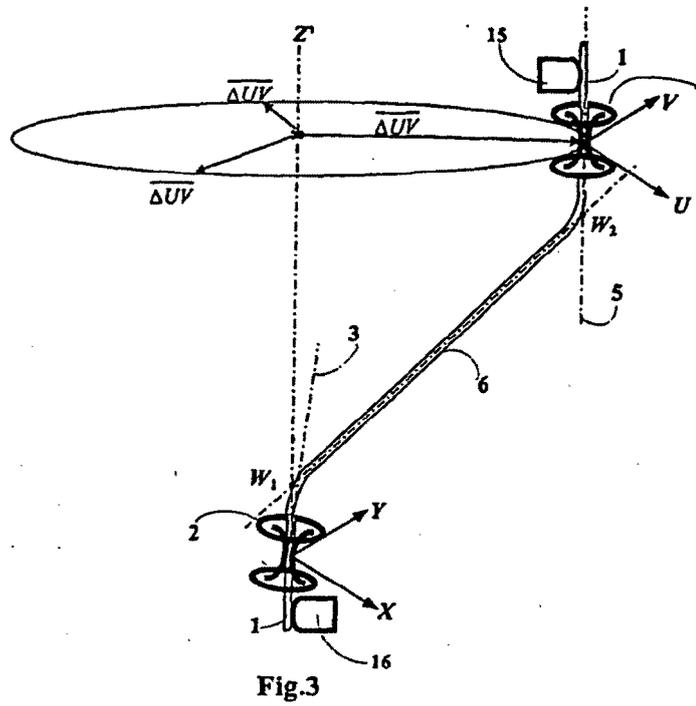
3.- Un método para medir y ajustar un electrodo, de acuerdo con la reivindicación 2, caracterizado por que se sirve,

para una serie de vectores $\overrightarrow{\Delta UV}$ de incremento de la inclinación del cable, de la secuencia cíclica de las siguientes operaciones:

- mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva a interferencia o interposición con la referencia alta (8),
 - 5 - mediante un movimiento independiente de la guía superior, el cable se inclina más acusadamente hacia la referencia inferior (7), al realizar un movimiento $-\Delta UV$ mayor que el precedente,
 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva de nuevo a interferencia con la referencia alta (8). Una nueva posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada,
 - 10 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva a interferencia con la referencia baja (7). Una nueva posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada,
- con cada nuevo ciclo, los valores xy_1 y xy_4 permanecen inalterados para la computación de D_1 y D_2 .

4.- Un método para medir y ajustar un electrodo, de acuerdo con las reivindicaciones 2 y 3, caracterizado por que se sirve, para una serie de vectores $\overrightarrow{\Delta UV}$ de inclinación creciente del cable, de la secuencia cíclica de las siguientes operaciones:

- 15 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva a interferencia con la referencia baja (7),
 - mediante un movimiento independiente o por separado de la guía superior, el cable es inclinado más acusadamente hacia la referencia alta (8), al realizar un movimiento $+\Delta UV$ mayor que el precedente,
 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva de nuevo a interferencia con la referencia baja (7). Una nueva posición xy_2 alcanzada es medida y almacenada,
 - 20 - mediante un movimiento simultáneo de las guías, el cable se lleva a interferencia con la referencia alta (8). Una nueva posición xy_3 alcanzada es medida y almacenada,
- con cada nuevo ciclo, los valores xy_1 y xy_4 permanecen inalterados para la computación de D_1 y D_2 .



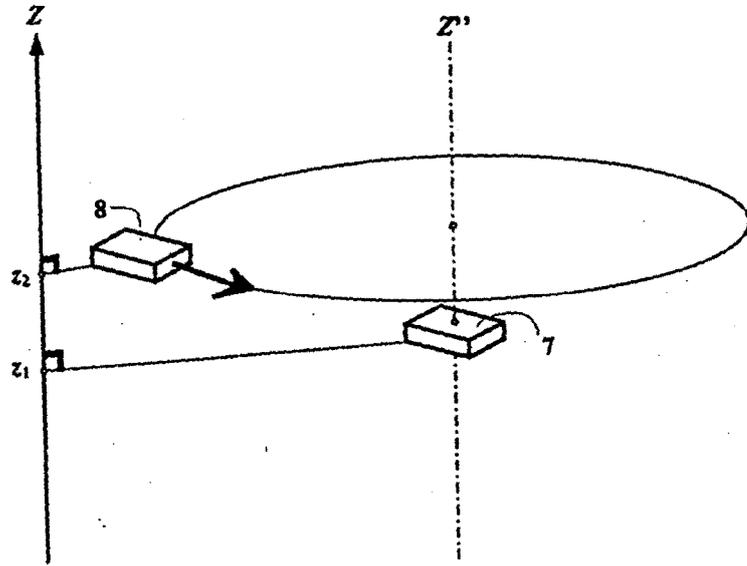


Fig.7

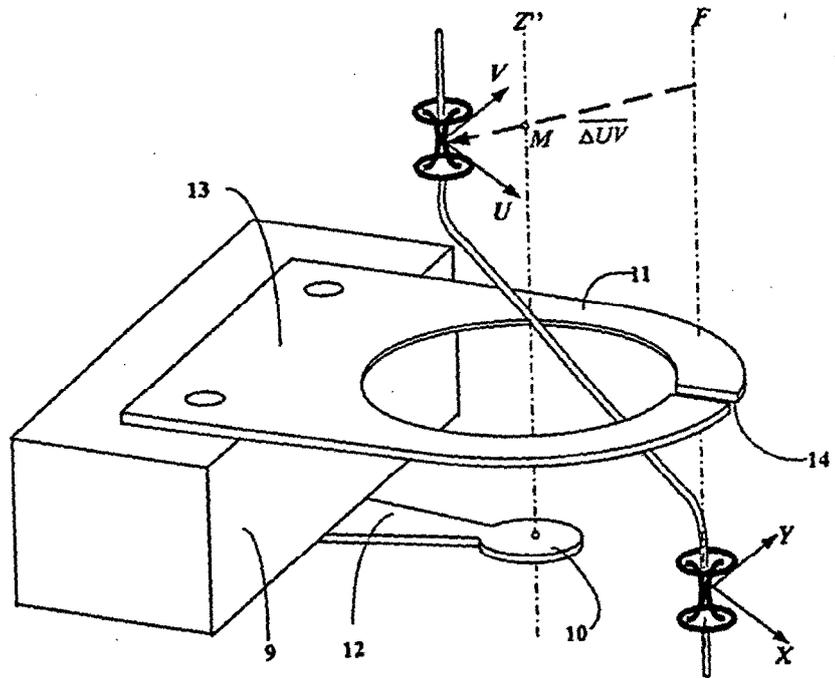


Fig.8