

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 672 877**

51 Int. Cl.:

G01B 7/02 (2006.01)

G01B 7/28 (2006.01)

B23H 11/00 (2006.01)

B23H 1/02 (2006.01)

B23H 7/18 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **02.05.2012 PCT/US2012/036168**

87 Fecha y número de publicación internacional: **08.11.2012 WO12151308**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **02.05.2012 E 12779279 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.04.2018 EP 2704868**

54 Título: **Sistemas de metrología basados en micro-descargas eléctricas y método de operación correspondiente**

30 Prioridad:

03.05.2011 US 201161482120 P

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

18.06.2018

73 Titular/es:

**SMALTEC INTERNATIONAL, LLC (100.0%)
1998 Ohio Street Suite 200
Lisle, IL 60532, US**

72 Inventor/es:

**MRAZ, JERRY y
MONTGOMERY, JONATHAN**

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 672 877 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

Sistemas de metrología basados en micro-descargas eléctricas y método de operación correspondiente

5 Antecedentes de la invención

Campo de la invención

10 La presente invención está dirigida a un sistema de metrología basado en una máquina de micro-descargas eléctricas (μ EDM, del inglés "micro-Electrical Discharge Machine") que usa unos estiletos y detección en niveles de energía de pico julios. El sistema de metrología basado en una máquina de micro-descargas eléctricas es un sistema de metrología sin contacto, no destructivo, e integrado con capacidad de aseguramiento de la calidad/control de calidad (QA/QC) en proceso.

15 Explicación de la técnica relacionada

Muchas industrias, incluyendo la de semiconductores, médica, automoción, defensa y aeroespacial tienen necesidad creciente de piezas con dimensiones medidas en micras, comúnmente conocidas como microestructuras. Sin embargo, los métodos conocidos para medir estas microestructuras tienen varios inconvenientes que frecuentemente dan como resultado la necesidad de descartar piezas que se fabrican fuera de especificación.

25 Cuando se fabrica una pieza de dimensiones convencionales, la pieza puede retirarse de la plataforma de mecanizado y medirse. Si se halla que una dimensión está fuera de tolerancias, la pieza puede colocarse de nuevo sobre la plataforma de mecanizado para una manipulación adicional. Sin embargo, cuando las piezas mecanizadas se reducen en tamaño a micras con tolerancias incluso más pequeñas, no es práctico que estas piezas se recolquen sobre la máquina después de la medición con la precisión necesaria. En consecuencia, para mantener los puntos de referencia sobre la pieza mecanizada, la pieza debe medirse sobre la plataforma de mecanizado previamente a su retirada. Si la pieza se retira de la máquina para ser medida y se encuentra fuera de especificación, la pieza debe descartarse dado que es muy difícil recolocarla en la máquina con la precisión necesaria para un mecanizado adicional. Entonces deben modificarse los procesos de mecanizado y fabricarse una nueva pieza. Esto cuesta tiempo, dinero, y da como resultado el desecho de material.

35 Los dispositivos de metrología sobre la máquina conocidos pueden recortar esta tasa de descarte en un 90 %, dando como resultado ahorros sustanciales para el fabricante, el suministrador y el consumidor. Sin embargo, estas plataformas de metrología conocidas son caras, tienen sensores frágiles y tienen un alcance de medición limitado.

40 Los sistemas de metrología sobre la máquina conocidos se dividen generalmente en dos tipos, sistemas táctiles u ópticos. Los sistemas ópticos, tanto visible como láser, están limitados por las restricciones de la línea de visión (si no puede verse, no puede medirse). Mientras que los sistemas de base táctil tienen sensores delicados con alcances limitados con respecto a las relaciones de aspecto, paredes laterales y salientes. Los sensores táctiles se basan también en un contacto superficial con la pieza, contacto superficial que puede dejar marcas testigo, rayados o imperfecciones que pueden hacer de una pieza inutilizable para la finalidad pretendida. Como un ejemplo, un tipo de sonda de ultra alta precisión contactará con una superficie con una fuerza de 0,300 N·m/ μ m. Esta fuerza es 15 mil millones de veces mayor que la fuerza más pequeña del sensor de la presente invención.

45 El documento JP-A-2009 229 427 divulga un sistema para una metrología sin contacto que comprende:

- una unidad de control que incluye un circuito de detección, un controlador y un cable de control;
- una sonda de husillo en conexión eléctrica con el circuito de detección;
- 50 - una máquina de micro-descargas eléctricas conectada a la unidad de control con el cable de control, incluyendo la máquina de micro-descargas eléctricas un receptor para sujetar la sonda de husillo;
- un mecanismo para mover la sonda de husillo al menos en dos dimensiones;
- una pieza de trabajo situada sobre una superficie de trabajo; en la que el mecanismo está adaptado para recibir instrucciones desde el controlador para mover la sonda de husillo en la proximidad de la pieza de trabajo, cuando un espacio entre la pieza de trabajo y la sonda de husillo se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica y el circuito de detección detecta un flujo de corriente debido a la ruptura dieléctrica y se registra la posición de la sonda de husillo.

60 Un sistema básicamente idéntico se divulga en el documento US-B-6 448 529. Este último documento también divulga un tanque que soporta la pieza de trabajo, tanque que es móvil en un plano X-Y perpendicular a la dirección Z, mientras que la sonda de husillo es móvil en la dirección Z.

65 Tanto los sistemas táctiles como ópticos también están afectados negativamente por aceites de la máquina y otros residuos de mecanizado. Para que cualquiera de estos sistemas sea efectivo, son necesarias etapas de limpieza adicionales previamente a su uso tanto dentro como fuera de la plataforma de mecanizado.

Como tal, existe una necesidad de un sistema de metrología mejorado para la medición de componentes micro-dimensionados que evite los inconvenientes de los sistemas de metrología conocidos.

Sumario de la invención

5 Un objeto general de la invención es proporcionar un sistema de metrología que use la detección de descargas eléctricas para medir un tamaño del componente.

10 El mecanizado por descargas eléctricas (EDM, del inglés "Electrical Discharge Machining") es actualmente un proceso de fabricación por erosión pura de material mediante el que se usan chispas eléctricas para erosionar el material de una pieza de trabajo para formar una figura deseada. Una herramienta-electrodo y una pieza de trabajo-electrodo se someten a una tensión eléctrica y en un dieléctrico. Inicialmente, cuando la herramienta-electrodo se aproxima a la pieza de trabajo-electrodo el dieléctrico actúa como un aislante. Cuando la herramienta-electrodo se mueve más próxima a la pieza de trabajo un campo eléctrico rompe el dieléctrico, formando una burbuja de plasma entre la herramienta-electrodo y la pieza de trabajo-electrodo. La burbuja de plasma conduce un flujo de energía, una chispa, entre la pieza de trabajo-electrodo hacia la herramienta-electrodo, evaporando material desde la pieza de trabajo y una cantidad más pequeña de material de la herramienta. Este flujo de energía disminuye la carga almacenada en el sistema, e iguala el potencial eléctrico entre la herramienta-electrodo y la pieza de trabajo-electrodo, colapsando el campo eléctrico y finalizando el evento de chispa. Las partículas de material evaporado se enfrían y serán purgadas con el fluido dieléctrico. Con el flujo eléctrico roto, el condensador se recarga y se restablece el campo eléctrico. La Tabla 1 lista los niveles de energía tradicional usados por los sistemas de EDM convencional y μ EDM. Se mantiene tradicionalmente que los circuitos EDM no funcionan con una polarización de menos de 60 V.

25

Tabla 1

Tensión (V)	Capacitancia (pF)	Energía (nJ)
Energía de EDM convencional		320.000.000
100	3300	16.500
80	100	320
60	10	18

30 En lugar del enfoque convencional de un EDM descrito anteriormente, la máquina de metrología de la presente invención usa un nivel de energía más bajo de modo que no elimine ningún material de la superficie de la pieza de trabajo. De acuerdo con la invención, el sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas para una metrología sin contacto, no destructiva, integrada incluye un circuito de detección de μ EDM de nivel de energía de pico-julios y un sensor de sonda de husillo fiable que está eléctricamente aislado y puede montarse en una variedad de máquinas de EDM convencionales. La detección con estos niveles de energía usando un estilete formado por μ EDM es la inversa del proceso detrás del EDM. Dichos mínimos niveles de energía, combinados con electrónica de respuesta en alta frecuencia, crearán un sensor eléctrico no destructivo, sin contacto para metrología *in situ*. El sistema de la presente invención no solo tendrá la capacidad para micro-metrología, sino que tendrá el beneficio añadido de una capacidad innata de μ EDM para auto-fabricar sus propias sondas de detección. Así como la funcionalidad μ EDM estándar para fabricación de micro-orificios, formación de contornos, y desbarbado de materiales conductores. De acuerdo con la invención, el sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la presente invención incluye un tanque para contener una pieza de trabajo, preferentemente en un fluido dieléctrico. El tanque incluye una superficie de soporte y un mecanismo para recolocar la pieza de trabajo al menos en dos dimensiones y preferentemente en tres dimensiones. La pieza de trabajo comprende preferentemente un material conductor, por ejemplo, pero sin limitarse a, materiales metálicos que incluyen acero inoxidable, platino, titanio, oro y molibdeno. Sin embargo, la pieza de trabajo no necesita ser un material metálico y puede comprender cualquier material conductor incluyendo, pero sin limitarse a, materiales cerámicos, silicio dopado, cerámica impregnada, y materiales no conductores recubiertos con película delgada.

40 El sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la presente invención incluye además una sonda con un mecanismo para la colocación de la sonda en la proximidad de la pieza de trabajo. El mecanismo es preferentemente una máquina de control numérico por ordenador (cnc) que es capaz de mover la sonda al menos en dos dimensiones y preferentemente en tres dimensiones. La sonda comprende preferentemente uno de entre un estilete de máquina de medición de coordenadas (CMM) tradicional, un estilete cilíndrico, un estilete ultra suave, un estilete rectangular, un estilete de rueda o disco, y un estilete ahusado. Sin embargo, la presente invención no está limitada a los estiletes listados y puede ser cualquier tipo de estilete conocido para un experto en la materia.

55 El sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la presente invención incluye además una unidad de control con un circuito de detección (también conocido como un circuito de descarga) y un controlador para la máquina de cnc. El circuito de detección se conecta eléctricamente a la sonda y a la pieza de trabajo. El circuito de detección comprende preferentemente un circuito de resistencia-condensador (RC) que funciona a la frecuencia natural de los valores de los componentes elegidos. Alternativamente, el circuito de detección puede comprender un

generador de corriente continua (CC) en pulsos con una frecuencia seleccionada por un generador de forma de onda.

5 En funcionamiento, la máquina mueve la sonda en la proximidad de la pieza de trabajo, cuando un espacio entre la pieza de trabajo y la sonda se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica y se registra una posición de al menos una entre la sonda y la pieza de trabajo, preferentemente sobre un medio de registro en la unidad de control y/o la máquina de cnc. La máquina de cnc mueve entonces la sonda a otra posición en la proximidad de la pieza de trabajo para registrar otra posición. Este proceso se repite hasta que se dimensiona la pieza de trabajo, según sea necesario. De acuerdo con la invención, una energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica no provoca daños a una superficie de la pieza de trabajo. La energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 2,0 nanojulios (nJ). En una realización, la energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,500 nanojulios. En otra realización, la energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,020 nanojulios.

15 En otra realización preferida de la presente invención, la máquina de micro-descargas eléctricas para medición sin contacto de la presente invención es una máquina independiente que incluye un sistema de sonda aislada, una caja de control independiente, un cable de control e instrucciones codificadas para la interfaz con una máquina de micro-descargas eléctricas de terceros y/o una máquina de cnc de terceros. En otra realización la máquina de micro-descargas eléctricas puede ser una renovación sobre μ EDM existentes así como concesiones y distribuciones con nuevas plataformas μ EDM.

Breve descripción de los dibujos

25 Estos y otros objetos y características de la presente invención se entenderán mejor a partir de la siguiente descripción detallada tomada en conjunto con los dibujos, en los que:

La Fig. 1 es un dibujo esquemático de un sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de acuerdo con una realización de la presente invención.

La Fig. 2 muestra un circuito de detección de acuerdo con una realización preferida de la presente invención;

30 La Figs. 3 muestra una realización preferida de una sonda que puede usarse con el sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la Fig. 1;

Las Figs. 4.1 a 4.7 muestran diversas sondas alternativas que pueden usarse con el sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la Fig. 1;

35 Las Figs. 5.1 y 5.2 muestran un par de sondas que pueden usarse con el sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la Fig. 1 y deformaciones superficiales resultantes de cada sonda;

La Fig. 6 muestra un par de gráficos que muestran la repetitividad de la medición del sistema de metrología basado en micro-descargas eléctricas de la presente invención; y

La Fig. 7 muestra una boquilla de carburo y un mapeado 3-D de una boquilla de carburo.

40 Descripción de realizaciones preferidas

La Fig. 1 es un diagrama esquemático que muestra una realización preferida de un sistema de metrología 10 basado en micro-descargas eléctricas (μ EDM) de la presente invención. El sistema de metrología 10 basado en μ EDM proporciona un sistema de metrología sin contacto, no destructivo, integrado. El sistema de metrología 10 basado en μ EDM de esta realización incluye una unidad de control 12 para la operación del sistema de metrología 10 basado en μ EDM, una sonda de husillo 14, una máquina que micro-descargas eléctricas 16 y un tanque 18 con una superficie de trabajo 20 y lleno con un fluido dieléctrico 22.

50 En una realización preferida, la unidad de control 12 incluye un circuito de detección 24 (también conocido como un circuito de descarga) que se conecta eléctricamente a una sonda de husillo 14 y a una pieza de trabajo 100. En una realización preferida, el circuito de detección 24 comprende un circuito resistencia-condensador (RC) que funciona a una frecuencia natural de los valores de los componentes elegidos. La Fig. 2 muestra una disposición de circuito detallada para una realización preferida del circuito de detección 24 de la presente invención. El circuito de la Fig. 2 incluye conexión a la sonda 50, conexión desde la sonda 60 y conexiones a un circuito de control 70. En una realización alternativa, el circuito de detección 24 puede comprender un generador de corriente continua (CC) en pulsos con una frecuencia seleccionada mediante un generador de forma de onda.

60 En una realización preferida, el circuito de detección 24 se diseña para funcionar con niveles de energía de pico-julios, tal como 5-20 voltios y 10 pF, para impedir daños a la pieza de trabajo 100. Sin embargo, el circuito de detección 24 puede diseñarse para funcionar con cualquier nivel de energía que proporcione metrología no destructiva.

65 En la realización de la Fig. 1, la unidad de control 12 incluye además un controlador 26 para proporcionar instrucciones al μ EDM 16. El controlador 26 se conecta al μ EDM 16 a través de un cable de control 28. En una realización preferida, el controlador 26 incluye instrucciones codificadas (software y/o hardware) para proporcionar un sistema de metrología independiente del usuario, en bucle cerrado. Donde las instrucciones codificadas pueden

comprender un medio que puede grabarse en combinación con un procesador de datos. La unidad de control 12 es preferentemente independiente de la plataforma, capaz de proporcionar las entradas/salidas (E/S) necesarias para comunicar el movimiento y detección sobre varias plataformas de mecanizado de terceros. Esto permitirá que el sistema de metrología 10 basado en μ EDM se monte sobre plataformas de terceros, trabajando como sistema de micro-metrología integrado además de los aspectos de mecanizado de la plataforma de terceros. El sistema de metrología 10 basado en μ EDM es preferentemente capaz de trabajar directamente con plataformas de terceros como una plataforma de micro-mecanizado auto-adaptativa. En la realización de la Fig. 1, la unidad de control 12 se muestra como un componente separado. Sin embargo, en una realización alternativa la unidad de control 12 puede fabricarse como un componente o una característica del μ EDM 16.

En la realización de la Fig. 1, el μ EDM 16 incluye un mecanismo 34 para el posicionamiento de la sonda de husillo 14 y un receptor 30 para conexión de la sonda de husillo 14 al μ EDM 16. En una realización preferida el mecanismo para el posicionamiento de la sonda de husillo 14 es una máquina de control numérico por ordenador (cnc) que es capaz de mover la sonda 14 al menos en dos dimensiones y preferentemente en tres dimensiones. En una realización preferida de la presente invención, el mecanismo 34 para el control de la posición de la sonda 14 es controlable desde la unidad de control 12.

Preferentemente, el receptor 30 es un porta-mandril de ranura en doble V que permite que la sonda 14 sea retirada del μ EDM 16 y posteriormente devuelta para medición adicional con poca calibración posicional necesaria. El porta-mandril de ranura en doble V mantiene la precisión posicional a menos de 0,250 micras entre mandriles. Permitiendo que las piezas micro-fabricadas se midan *in situ*, y se verifiquen previamente a la retirada de las piezas micro-fabricadas de la plataforma de mecanizado. En una realización alternativa, el receptor 30 puede comprender otros medios para la conexión de la sonda 14 al μ EDM 16 incluyendo, por ejemplo pero sin limitarse a, un sistema de husillo/engarce y una sonda de husillo portador.

Cuando se fija la sonda de husillo 14 al receptor 30, la sonda preferentemente se calibra. En una realización preferida, la sonda de husillo 14 de la presente invención se calibra usando el proceso de ensayo para calibración CMM, por ejemplo, ASME B89 4.1, VDI/VDE 217 e ISO 10360. El proceso de ensayo para calibración CMM incluye preferentemente 21 ensayos de diversas normas que incluyen: precisión lineal para cada eje (X, Y, Z); cuadratura de los ejes entre sí (XY, XZ, YZ); rectitud horizontal y vertical de cada eje (X, Y, Z); y precisión rotacional de cada eje (cabeceo, inclinación y orientación de cada eje). Cada ensayo implica la recogida de datos mediante la medición de una serie de galgas tal como se definen, y calibradas muchas veces y proporcionadas por el National Institute of Standards and Technology.

La sonda de husillo 14 puede tener diversas formas y tamaños dependiendo de la forma y material del componente que ha de medirse. La pulverización de electroerosión por hilo (WEDG, del inglés "Wire Electro-Discharge Grinding") es un proceso para formación de herramientas que permite la creación de herramientas con diversas formas y tamaños. La sonda 14 se mecaniza preferentemente con el proceso WEDG hasta una forma óptima para la medición de piezas individuales. La Fig. 3 muestra una realización preferida de la sonda 14 de la presente invención que comprende una sonda cilíndrica con una punta cónica redondeada. Las Figs. 4.1-4.7 muestran siete realizaciones alternativas de sondas que pueden usarse con el sistema de metrología 10 basado en μ EDM de la presente invención. La Fig. 4.1 es una sonda para formas de elevada relación de aspecto. La Fig. 4.2 es un estilite CMM tradicional. La Fig. 4.3 es una sonda de disco o rueda usada para medir una diversidad de características incluyendo, pero sin limitarse a, paredes laterales, pendientes inversas y roscas. La Fig. 4.4 es un estilite cilíndrico general. La Fig. 4.5 es un estilite de 70 micras ultra liso (10 nm de radio) en el estilite de CMM. La Fig. 4.6 es un estilite rectangular para la medición de radios de esquinas interiores. La Fig. 4.7 es una herramienta especializada para la medición del radio inferior dentro de canales en V y orificios ahusados. Sin embargo, debería entenderse que la sonda 14 no está limitada a las formas de las Figs. 2 y 3.1-3.7 y que puede tener cualquier forma necesaria para la medición de un componente con la presente invención.

Como se muestra en la Fig. 1, el μ EDM 16 incluye adicionalmente el tanque 18 con la superficie de trabajo 20. En una realización preferida, el tanque 18 se llena con un fluido dieléctrico 22. Sin embargo, el tanque no requiere el fluido dieléctrico 22. En una realización preferida el fluido dieléctrico 22 comprende un fluido dieléctrico de μ EDM estándar. Incluyendo, por ejemplo pero sin limitarse a, los fluidos listados en la Tabla 2.

Tabla 2

Nombre del fluido	Viscosidad	Resistencia dieléctrica	Gravedad específica
EDM 30	3,4 cSt (centistokes)	Alta	0,82
Ionoplus	2,8 cSt	Alta	0,793
EDM 185	1,87 cSt	Alta	0,788

Sin embargo, el fluido dieléctrico 22 no está limitado a los fluidos dieléctricos listados en la Tabla 2 y puede comprender cualquier fluido que permita que tenga lugar una ruptura dieléctrica cuando la sonda 14 se lleva a una

estrecha proximidad con la pieza de trabajo 100. En una realización alternativa, el fluido dieléctrico 22 puede comprender un gas incluyendo, por ejemplo, aire y gas argón.

5 En una realización de la invención, el μ EDM 16 incluye adicionalmente una plataforma 32 que permite el ajuste de la posición de la pieza de trabajo 100 al menos en dos dimensiones y preferentemente en tres dimensiones.

10 En funcionamiento, la unidad de control 12 con el controlador 26 da instrucciones al μ EDM 16 y/o a la máquina de cnc 34 para mover la sonda 14 en la proximidad de la pieza de trabajo 100, cuando un espacio entre la pieza de trabajo 100 y la sonda 14 se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica. Tras la detección de un flujo de corriente debido a la ruptura dieléctrica se detiene la sonda 14 y se registran las coordenadas de la sonda 14. El μ EDM 16 mueve entonces la sonda 14 a otra posición en la proximidad de la pieza de trabajo hasta que tiene lugar otra ruptura dieléctrica y se registra otra posición. Este proceso se repite hasta que se dimensiona tal como sea necesario la pieza de trabajo 100. Por ejemplo, cuando se miden superficies relativamente planas, el μ EDM 16 mueve la sonda 14 diez micras en una dirección vertical (eje z) hasta que tiene lugar una ruptura dieléctrica y se registra una posición de la sonda. La sonda 14 se mueve en la dirección vertical inversa, a continuación se mueve diez micras en una dirección lateral (eje x y/o eje y) y la sonda 14 se desciende a continuación de nuevo hasta que tiene lugar otra ruptura dieléctrica y se registra de nuevo la posición de la sonda. El movimiento de la sonda 14 en el eje x, eje y y eje z puede variarse según sea necesario dependiendo del material y de las características superficiales de la pieza de trabajo 100. En una realización preferida, una energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica no provoca daños a una superficie de la pieza de trabajo 100. En una realización, la energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 2,0 nanojulios. En otra realización, la energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,500 nanojulios. En otra realización, la energía de chispa resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,020 nanojulios.

25 El sistema de metrología 10 basado en μ EDM de la presente invención se ensayó usando dos tipos de sondas detectoras, cuatro tipos de materiales y diversos niveles de energía para determinar qué variables tienen el mayor impacto sobre la deformación superficial. Los dos tipos de sondas ensayadas incluyeron una sonda cilíndrica con un extremo plano y una sonda cilíndrica con una sonda en punta cónica redondeada. Los cuatro tipos de materiales incluyeron acero inoxidable, molibdeno, oro y platino. El ensayo se realizó con enfoque sobre dos aspectos fundamentales: repetitividad y deformación superficial. El ensayo se llevó a cabo en una máquina comercial en funcionamiento, usando un fluido dieléctrico de μ EDM estándar (EDM 30) y sin ningún proceso de limpieza adicional ni de las sondas detectoras ni de los materiales ensayo.

35 La Tabla 3 muestra las variables eléctricas y su nivel de impacto sobre la deformación superficial.

Tabla 3

Variable	Rango	Impacto		
		Alto [0-5V]	Bajo [5-20V]	Alto [>20V]
Energía	5-20V [10pF]			
Polaridad	Positiva o Negativa	Alto		
Sensibilidad	10-90 % tiempo de elevación	Bajo [10-75%]	Alto [>75%]	

40 El ensayo reveló que por debajo de 20 V (10 pF), y por encima de 5 voltios (10 pF) el nivel de energía tenía poco impacto sobre la deformación superficial. Sin embargo, a tensiones más altas, mayores de 20 V, se incrementa la posibilidad de ruptura dieléctrica y de descargas alejadas que crean marcas de EDM por soplado. Tensiones inferiores, menores de 5 V, fueron también menos fiables dado que estuvieron por debajo de la alimentación de 5 V del circuito de detección reduciendo la capacidad de detección de la presente invención y dando como resultado posiblemente el contacto de la sonda y el marcado de la pieza de trabajo.

45 El ensayo también reveló que la sensibilidad del circuito de descarga fue casi intrascendente. Si la sensibilidad se fijaba demasiado alta, mayor del 75 %, el sistema podría activarse por impurezas en el medio de purgado, el fluido dieléctrico.

50 El ensayo reveló también que una polaridad de tensión positiva tenía un impacto mucho más significativo sobre la deformación superficial que lo que tenía una polaridad de tensión negativa. A partir de este ensayo, se determinó que las tensiones de detección óptimas para la mayor parte de las sondas están entre -5 y -20 voltios con respecto al sustrato.

55 El ensayo se realizó con dos tipos de sondas con un cilindro recto a 90 grados y un cilindro cónico redondeado. Se determinó que la forma de la sonda tenía un gran impacto sobre las características de no contacto del proceso de la presente invención. Las Figs. 5.1 y 5.2 muestran cada una de las sondas y la deformación superficial resultante sobre el platino. La Fig. 5.1 muestra la sonda cilíndrica recta a 90 grados y la deformación superficial resultante del platino con un zoom de 600x. La Fig. 5.2 muestra la sonda cilíndrica cónica redondeada y la deformación superficial resultante del platino con un zoom de 3000x. Estas figuras muestran cómo una sonda de superficie plana era más proclive al contacto superficial y rayado, mientras que una sonda de superficie redondeada estaba más fiablemente

sin contacto. También se determinó que eran necesarias tasas de alimentación más bajas para sensores planos para conseguir resultados comparables con los de sensores más redondeados. Las sondas se movieron ambas a 5 mm/min.

5 Se ruega tomar nota de que el circuito ensayado utilizó una alimentación del circuito de detección a 5 V. Sin embargo, los 5 V de alimentación del circuito de detección no necesitan ser 5 V y puede diseñarse para funcionar con una tensión más alta o más baja lo que puede cambiar las variables eléctricas y su nivel de impacto sobre la deformación superficial descrita anteriormente.

10 La repetitividad es un aspecto clave de la presente invención dado que cualquier erosión superficial puede alterar el posicionamiento futuro. La naturaleza no destructiva de este proceso minimiza errores que son provocados por la erosión superficial. La Fig. 6 muestra 50 segmentos de muestra de cómo el proceso mide repetitivamente una única línea. La desviación estándar de las mediciones en línea estuvo en el intervalo de 100 nm, con un máximo de 150 nm y un mínimo de 80 nm.

15 Como un ensayo final del proceso, se midió una pieza de trabajo y se comprobaron las imperfecciones. La Fig. 7 muestra una boquilla pulida y una sección de su forma mapeada. La boquilla pulida se midió usando un algoritmo de fuerza bruta y se mapeó por separado. El mapeado se preparó para exponer cualesquiera inconsistencias, o escalones, creados por el proceso de mecanizado convencional. El resultado es el gráfico de una forma lisa. La boquilla pulida se inspeccionó posteriormente (1000x) en busca de marcas "testigo" y no se halló ninguna.

20 De ese modo, el ensayo mostró que el sistema de metrología basado en μ EDM de la presente invención puede ser una herramienta de metrología efectiva. Las variables principales que afectan al proceso son la polaridad de la tensión, la energía y la forma de la sonda. Se descubrió que otras variables eran intrascendentes excepto en los extremos, mientras que otras, con la optimización de la forma del electrodo, se desviaron para beneficiar el proceso, tales como las tasas de alimentación y potenciales de tensión.

25 De ese modo, la invención proporciona un sistema de metrología basado en una máquina de micro-descargas eléctricas. El sistema de metrología basado en una máquina de micro-descargas eléctricas es un sistema de metrología sin contacto, no destructivo, e integrado con capacidad de aseguramiento de la calidad-control de calidad dentro del proceso.

30 Se apreciará que los detalles de las realizaciones anteriores, dadas con finalidades de ilustración, no han de interpretarse como limitativas del alcance de la presente invención. Aunque solo se han descrito en detalle anteriormente unas pocas realizaciones de ejemplo de la presente invención, los expertos en la materia apreciarán fácilmente que son posibles muchas modificaciones en las realizaciones de ejemplo sin apartarse materialmente de las enseñanzas novedosas y ventajas de la presente invención. En consecuencia, se pretende que todas las susodichas modificaciones estén incluidas dentro del alcance de la presente invención, que se define en las reivindicaciones que siguen y en todas las equivalencias de las mismas. Adicionalmente, se reconoce que pueden concebirse muchas realizaciones que no consiguen todas las ventajas de algunas realizaciones, particularmente de las realizaciones preferidas, aunque la ausencia de una ventaja particular no debe interpretarse que significa necesariamente que dicha realización esté fuera del alcance de la presente invención.

REIVINDICACIONES

1. Un sistema para metrología sin contacto (10) que comprende:

5 una unidad de control (12) que incluye un circuito de detección (24), un controlador (26) y un cable de control (28);
 una sonda de husillo (14) en conexión eléctrica con el circuito de detección (24);
 una máquina de micro-descargas eléctricas (16) conectada a la unidad de control (12) con el cable de control (28), incluyendo la máquina de micro-descargas eléctricas (16) un receptor (30) para sujetar la sonda de husillo (14);
 10 un mecanismo (34) en comunicación con la unidad de control (12) para mover la sonda de husillo (14) al menos en dos dimensiones;
 un tanque (18) que incluye una superficie de trabajo (20);
 una pieza de trabajo (100) posicionada sobre la superficie de trabajo (20);
 15 en el que el mecanismo (34) recibe instrucciones desde el controlador (26) para mover la sonda de husillo (14) en la proximidad de la pieza de trabajo (100), cuando un espacio entre la pieza de trabajo (100) y la sonda de husillo (14) se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica y el circuito de detección (24) detecta un flujo de corriente debido a la ruptura dieléctrica y se registra una posición de la sonda de husillo (14);
 y
 20 en el que el circuito de detección (24) funciona con tensiones de detección entre 5 y 20 V de modo que una energía resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 2,0 nanojulios y no provoca daños a una superficie de la pieza de trabajo (100).

25 2. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que el circuito de detección (24) comprende un circuito resistencia-condensador (RC) y el circuito de detección (24) funciona a una frecuencia natural.

30 3. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que el receptor (30) comprende un sistema de husillo/engarce.

4. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que el receptor (30) comprende un porta-mandril de doble ranura en V.

35 5. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la sonda de husillo (14) comprende una de entre una sonda cilíndrica con una punta cónica redondeada, un estilote de CMM tradicional, un estilote cilíndrico, un estilote ultra liso, un estilote rectangular, un estilote de rueda y un estilote ahusado.

40 6. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la pieza de trabajo (100) comprende un material conductor que incluye uno de entre acero inoxidable, platino, titanio, oro y molibdeno.

7. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la energía resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,500 nanojulios.

45 8. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la energía resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 0,020 nanojulios.

9. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la sonda de husillo (14) está eléctricamente aislada.

50 10. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que la máquina de micro-descargas eléctricas (16) además es capaz de funcionar como una máquina de erosión de material.

55 11. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 1, en el que el mecanismo (34) para mover la sonda de husillo (14) al menos en dos dimensiones comprende una máquina de control numérico por ordenador.

12. Un sistema para metrología sin contacto (10) que comprende:

una unidad de control (12) que incluye un circuito de detección (24) y un controlador de cnc;
 una máquina de cnc en conexión con el controlador de cnc, incluyendo la máquina de cnc un brazo de
 60 mecanizado y un mecanismo de accionamiento para mover el brazo de mecanizado;
 una sonda de husillo (14) en conexión eléctrica con el circuito de detección (24), montada la sonda de husillo (14) en el brazo de mecanizado;
 una pieza de trabajo (100) posicionada sobre una superficie de trabajo (20);
 en el que la unidad de control (12) controla el mecanismo de accionamiento para mover el brazo de mecanizado
 65 y la sonda de husillo (14) en la proximidad de la pieza de trabajo (100), y, cuando un espacio entre la pieza de trabajo (100) y la sonda de husillo (14) se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica y el

- 5 circuito de detección (24) detecta un flujo de corriente debido a la ruptura dieléctrica y se registra una posición de la sonda de husillo (14); y
en el que el circuito de detección (24) funciona con tensiones de detección entre 5 y 20 V de modo que una energía resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 2,0 nanojulios y no provoca daños a una superficie de la pieza de trabajo (100).
- 10 13. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 12, en el que el circuito de detección (24) comprende un circuito resistencia-condensador (RC).
- 15 14. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 12, en el que el circuito de detección (24) comprende un generador de corriente continua (CC) en pulsos con una frecuencia seleccionada por un generador de forma de onda.
- 20 15. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 12, en el que la sonda de husillo (14) comprende una de entre una sonda cilíndrica con una punta cónica redondeada, un estilote de CMM tradicional, un estilote cilíndrico, un estilote ultra liso, un estilote rectangular, un estilote de rueda y un estilote ahusado.
- 25 16. El sistema para metrología sin contacto (14) según la reivindicación 12, en el que la sonda de husillo (14) está eléctricamente aislada.
- 30 17. El sistema para metrología sin contacto (10) según la reivindicación 12, en el que la máquina de cnc además es capaz de funcionar como una máquina de erosión de material.
- 35 18. Un método de operación de una máquina de micro-descargas eléctricas (16), como una máquina de metrología sin contacto que comprende:
conectar una unidad de control (12) a la máquina de micro-descargas eléctricas (16), en el que la unidad de control (12) incluye un circuito de detección (24) y una sonda de husillo (14) eléctricamente aislada en conexión eléctrica con el circuito de detección (24);
operar la máquina de micro-descargas eléctricas (16) para mover la sonda de husillo (14) eléctricamente aislada en la proximidad de una pieza de trabajo (100) a ser medida, cuando un espacio entre la pieza de trabajo (100) y la sonda de husillo (14) se hace suficientemente pequeño tiene lugar una ruptura dieléctrica;
en el que el circuito de detección (24) detecta un flujo de corriente debido a la ruptura dieléctrica y en el que el circuito de detección (24) funciona a tensiones de detección entre 5 y 20 V de modo que una energía resultante de la ruptura dieléctrica es menor de 2,0 nanojulios y no provoca daños a una superficie de la pieza de trabajo (100); y
registrar una posición de la sonda de husillo (14) con el flujo de corriente.

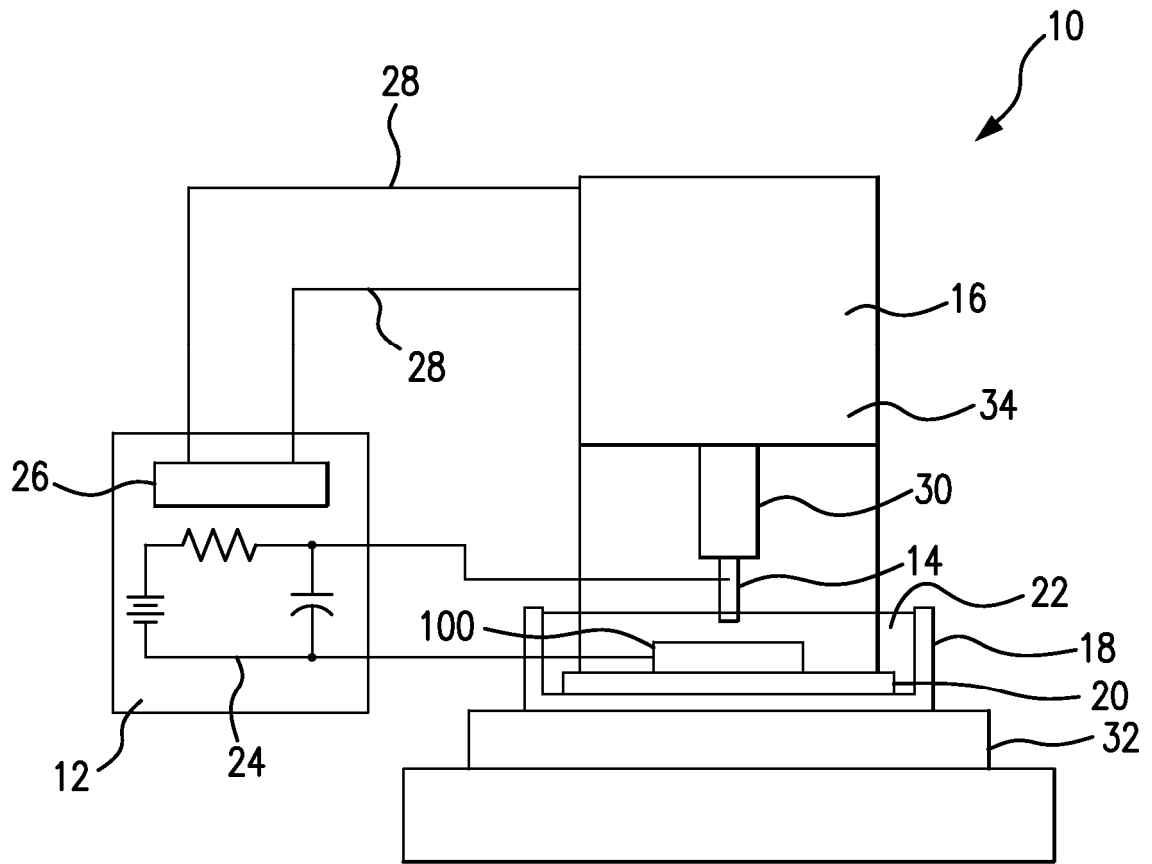


FIG. 1

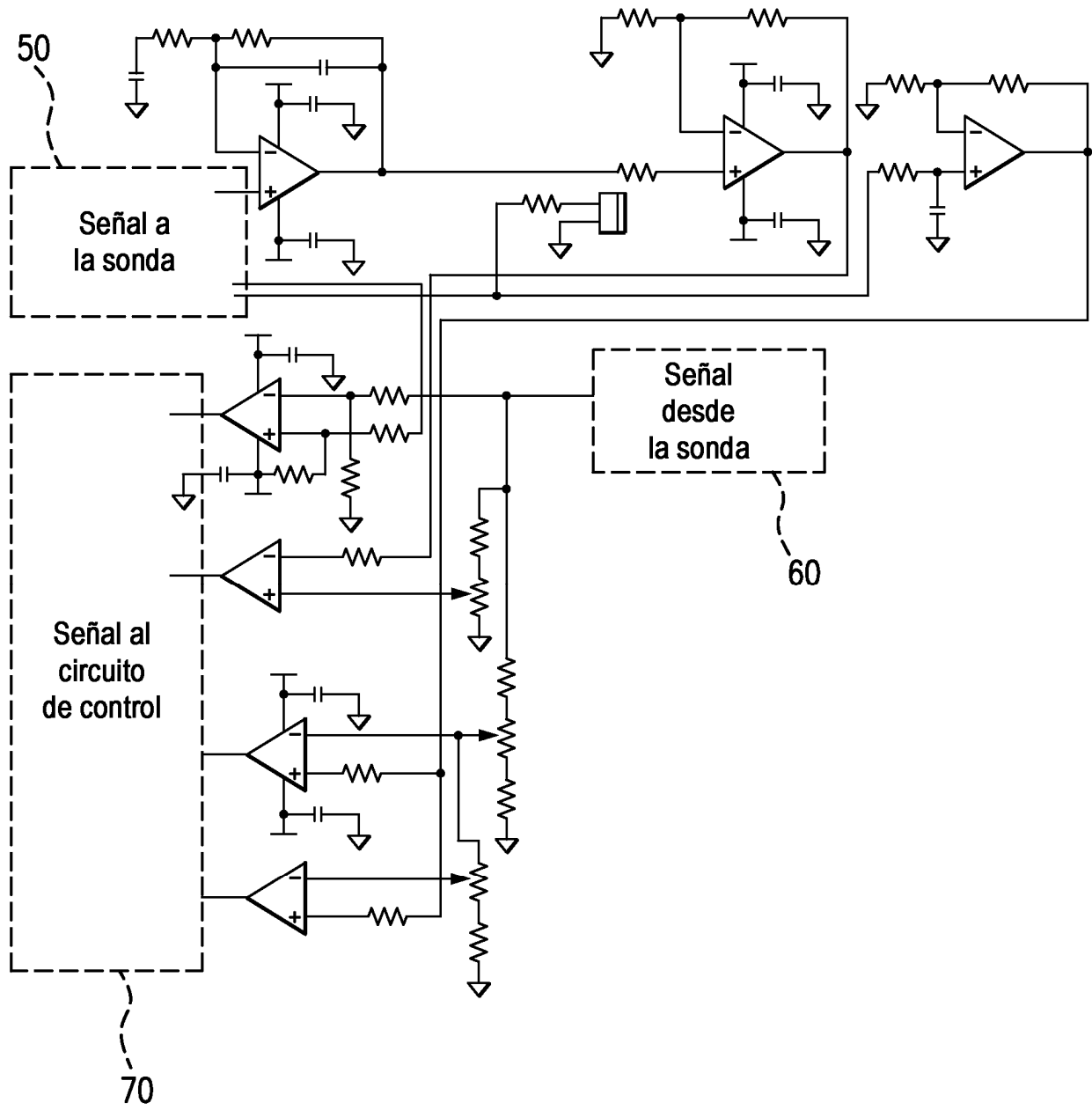


FIG. 2

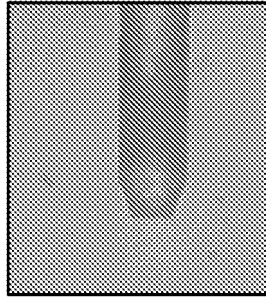


FIG. 3

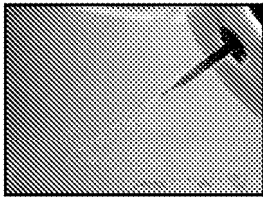


FIG. 4.1

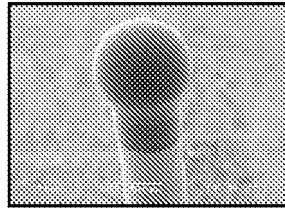


FIG. 4.2

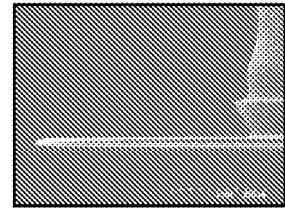


FIG. 4.3

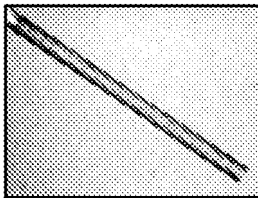


FIG. 4.4

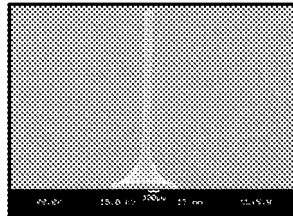


FIG. 4.5

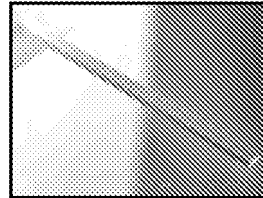


FIG. 4.6

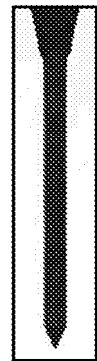
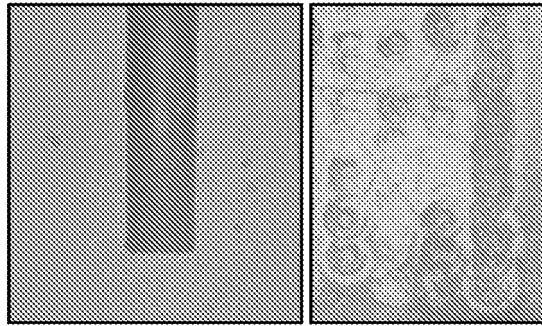
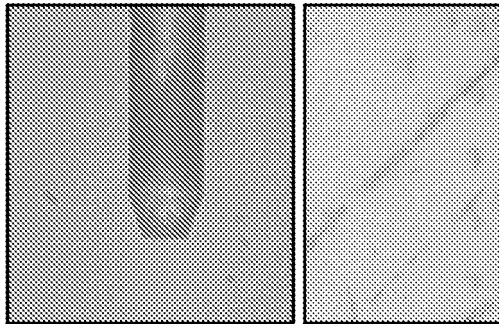


FIG. 4.7



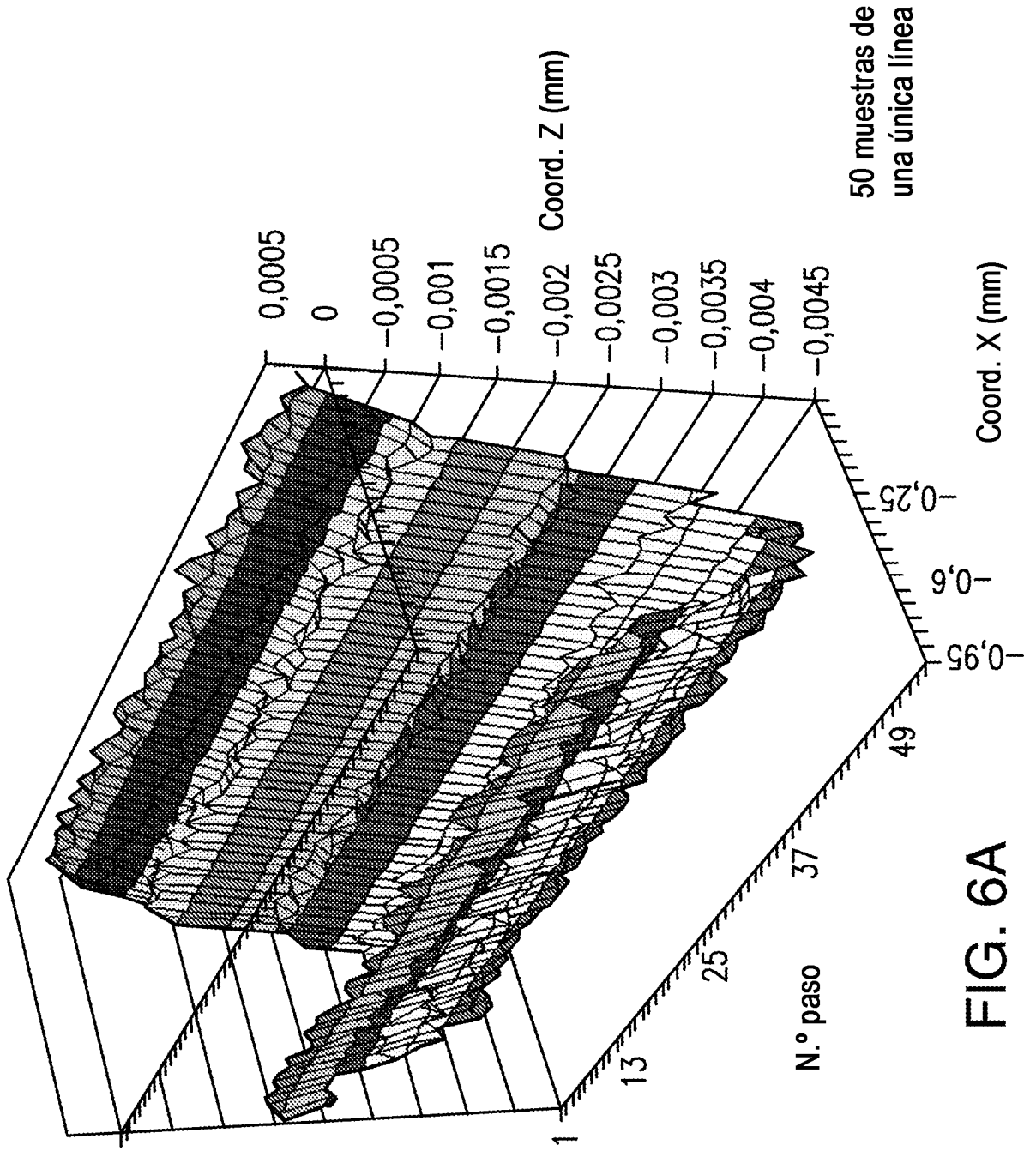
Sonda plana y resultados (600X)

FIG. 5.1



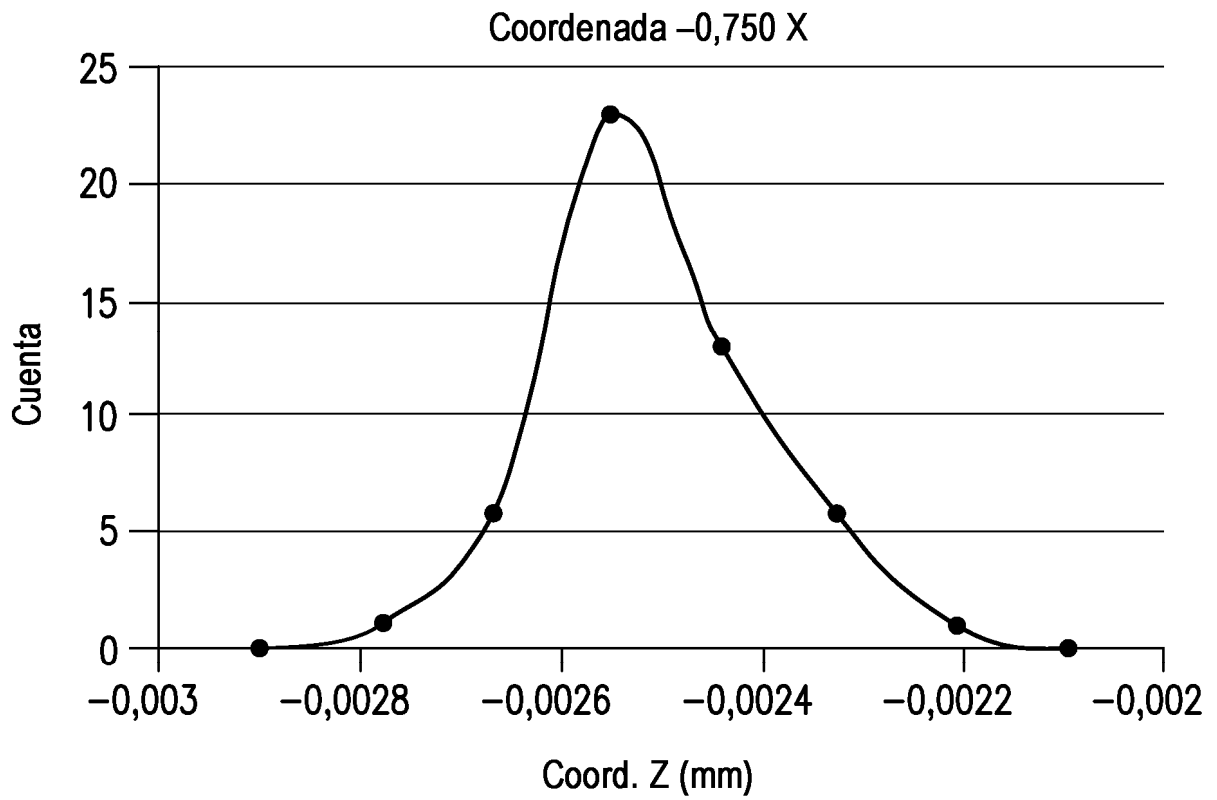
Sonda redondeada y resultados (3000X)

FIG. 5.2



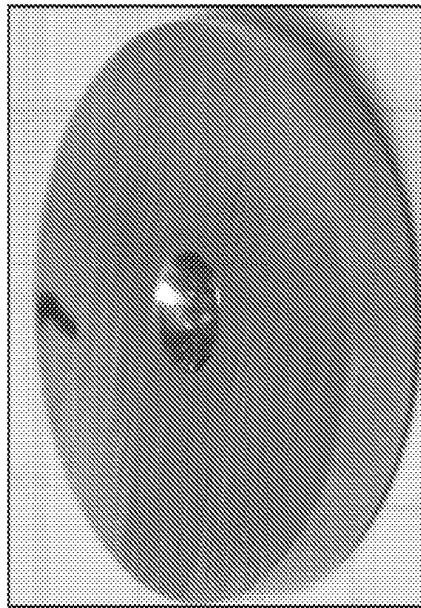
50 muestras de una única línea

FIG. 6A



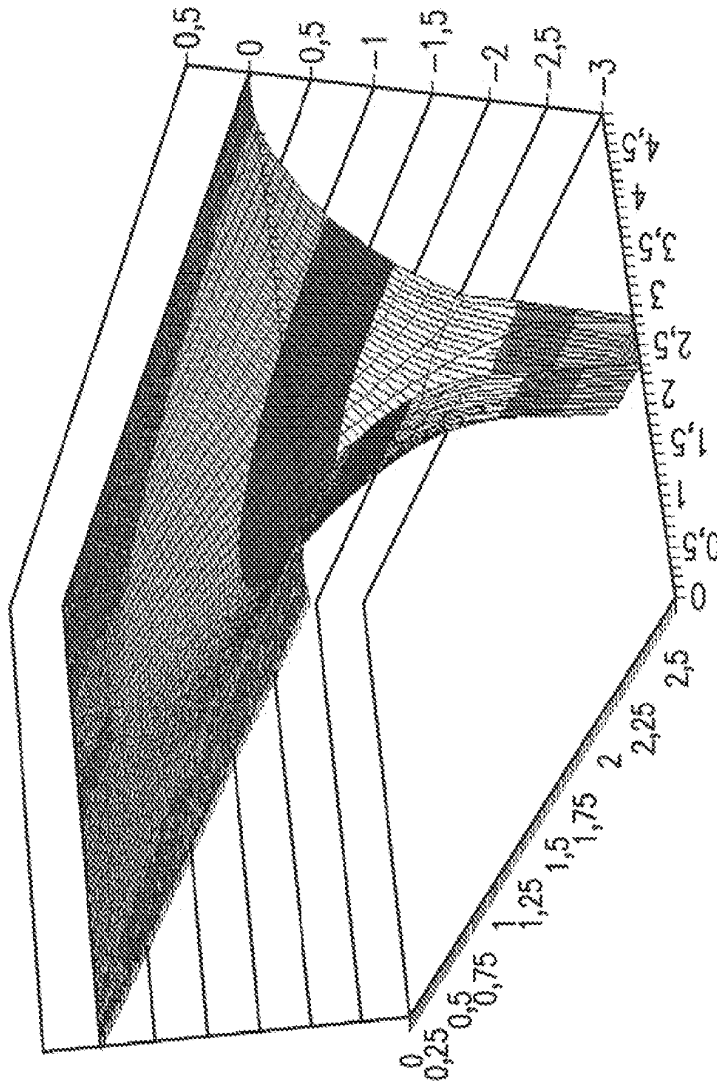
La distribución estándar de un único punto

FIG. 6B



Una boquilla de carburo

FIG. 7(A)



Sección de su forma mapeada

FIG. 7(B)