

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 532 898**

51 Int. Cl.:

**C23C 14/06** (2006.01)

**C23C 14/32** (2006.01)

**C23C 14/52** (2006.01)

**H01J 37/34** (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.06.2011 E 11005342 (8)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.12.2014 EP 2540858**

54 Título: **Deposición por arco catódico**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.04.2015**

73 Titular/es:

**LAMINA TECHNOLOGIES SA (100.0%)**  
**Rue de Pythagore 2**  
**1400 Yverdon-les-Bains , CH**

72 Inventor/es:

**BÖHLMARK, JOHAN y**  
**CURTINS, HERMANN**

74 Agente/Representante:

**MIR PLAJA, Mireia**

ES 2 532 898 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

Deposición por arco catódico

5 **Ámbito Técnico**

[0001] La presente invención se refiere a un método para depositar un recubrimiento sobre un sustrato de herramienta de corte usando un proceso de deposición por arco catódico y en particular un proceso de deposición por arco catódico de alta intensidad.

10

**Antecedentes de la Técnica**

[0002] En su mayoría las herramientas de corte para el torneado, el fresado, el taladrado u otras mecanizaciones por arranque de viruta son hoy en día recubiertas con un recubrimiento resistente al desgaste que es depositado usando técnicas de deposición química de vapor (DQV) o de deposición física de vapor (DFV) a fin de prolongar la vida activa de la herramienta y/o de incrementar la productividad. En general se persigue lograr un recubrimiento comparativamente grueso, puesto que esto mejora la resistencia al desgaste. Esto se logra fácilmente para los recubrimientos hechos por DQV. Sin embargo, los recubrimientos hechos por DFV tienen varias propiedades atractivas en comparación con los recubrimientos hechos por DQV, y en particular la capacidad de proporcionar tensión de compresión en el recubrimiento, la cual proporciona una mejor tenacidad en comparación con los recubrimientos hechos por DQV. Estas tensiones de compresión se derivan esencialmente de diferencias de dilatación térmica entre sustrato y recubrimiento y de un efecto de densificación debido a un bombardeo de iones de alta energía durante la deposición. Este efecto ventajoso del bombardeo iónico apenas está presente en todas las técnicas de DFV tales como la evaporación térmica, pero prevalece en la deposición por pulverización catódica y con la deposición por arco catódico la tensión de compresión puede llegar a ser excesivamente alta, siendo a menudo de más de 5 GPa, debido a la alta energía cinética de los iones incidentes. La polarización del sustrato es una manera estándar de incrementar la energía cinética y para los recubrimientos duros se la considera necesaria para obtener las deseadas propiedades mecánicas. La densificación típicamente conduce a un incremento de la dureza y a una mejor resistencia al desgaste del material del recubrimiento. En combinación con una potencialmente alta velocidad de deposición, esto hace que las técnicas de deposición por arco catódico sean una alternativa interesante para la deposición de recubrimientos para herramientas de corte.

[0003] Sin embargo, debido a un bombardeo iónico demasiado fuerte pueden generarse defectos y las tensiones de compresión demasiado altas ocasionarán finalmente una deslaminación del recubrimiento, ya sea espontáneamente o bien debido a las fuerzas que actúan en el recubrimiento durante la mecanización, en particular para los recubrimientos de gran espesor. Así, el nivel de tensión en el recubrimiento normalmente se controla para obtener una tensión de compresión lo más alta posible sin comprometer demasiado la adherencia del recubrimiento. Por ejemplo, la US 7.838.132 da a conocer una deposición por arco catódico de recubrimientos de (Ti,Al)N de aproximadamente 3 µm de espesor sobre sustratos de herramientas de corte de carburo cementado usando una intensidad de arco de 200 A con distintas polarizaciones del sustrato que van desde -40 V hasta -200 V, y llega a la conclusión de que hay un óptimo a aproximadamente -70 V donde pueden lograrse altas tensiones de compresión, es decir unas tensiones de compresión de más de 4 GPa, y sin embargo sigue siendo posible obtener una buena adherencia. Otras sofisticadas técnicas de polarización pueden permitir una atenuación de tensiones y un reordenamiento de las uniones durante la deposición, permitiendo con ello una comparativamente alta energía cinética sin adolecer considerablemente de problemas de deslaminación.

[0004] En consecuencia, los procesos de deposición por arco catódico del estado de la técnica adolecen de un problema de equilibrio entre el espesor del recubrimiento, que es crucial para la resistencia al desgaste, y la calidad del recubrimiento con respecto a propiedades mecánicas, y en particular con respecto a la tenacidad.

50 **Breve exposición de la invención**

[0005] Un objeto de la invención es el de aportar un proceso de deposición por arco catódico que permita formar recubrimientos de gran espesor sobre sustratos de herramientas de corte a fin de mejorar la resistencia al desgaste de las herramientas de corte recubiertas, tales como insertos de herramientas de corte recubiertos y herramientas redondas hechas de carburos cementados, cermets, acero rápido, nitruro de boro cúbico y diamante policristalino, sin deteriorar otras propiedades tales como la adherencia o la resistencia al desconchado. Esto se logra mediante un método como el definido por las reivindicaciones independientes.

[0006] La presente invención aporta un método para depositar un recubrimiento de TiAlN sobre un sustrato de herramienta de corte usando un proceso de deposición por arco catódico y en particular un proceso de deposición por arco catódico de alta intensidad, comprendiendo dicho método los pasos de:

- prever un sistema anódico y un blanco con forma de placa que formen una configuración de ánodo-cátodo para deposición por arco catódico dentro de una cámara de vacío, en donde dicho blanco con forma de placa comprende Ti y Al como elementos principales;

- prever al menos un sustrato de herramienta de corte en la cámara de vacío que comprende nitrógeno como gas reactivo; y
  - generar un plasma mediante una descarga de arco visible como al menos un punto de arco en la superficie del blanco con forma de placa a base de aplicar una corriente de arco de al menos 200 A entre el blanco con forma de placa y el sistema anódico de forma tal que desde el blanco con forma de placa son emitidos iones de la descarga de arco para así formar el recubrimiento sobre los sustratos de herramienta de corte que son al menos uno;
  - en cuyo método una densidad media de corriente iónica en una dirección normal a la superficie del blanco, medida usando una superficie de sonda encarada al blanco a una distancia de 15 cm de la superficie del blanco, multiplicada por el área superficial total del blanco con forma de placa es de al menos 5 A;
- estando dicho método caracterizado por el hecho de que adicionalmente comprende el paso de aplicar al sustrato de herramienta de corte un voltaje de polarización  $V_S$  que es negativo con respecto a un potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico y un voltaje catódico  $V_C$  que es negativo con respecto al potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico, en donde:
- $V_S - V_A > -30 \text{ V}$ ,
  - $-20 \text{ V} < V_C - V_A < 0 \text{ V}$ , y
  - $-10 \text{ V} \leq V_S - V_C \leq 10 \text{ V}$ .

**[0007]** Una alta corriente iónica total de este tipo no se logra fácilmente usando un blanco pequeño puesto que la densidad de potencia del arco típicamente llega a ser demasiado alta como para poder controlar eficazmente la evaporación del material del blanco, y por consiguiente sería emitido desde la superficie del blanco un número inaceptable de gutículas, lo cual es perjudicial para la calidad del recubrimiento. Usando una comparativamente gran área superficial del blanco según una realización de la presente invención, la densidad de corriente y la carga térmica local en el blanco pueden ser mantenidas a niveles moderados, obteniéndose al mismo tiempo la alta corriente iónica total. Preferiblemente el área superficial del blanco con forma de placa es de más de  $500 \text{ cm}^2$ , y con preferencia de más de  $1000 \text{ cm}^2$ . Con ello es posible una ramificación de la descarga de arco en una multitud de puntos de arco distribuidos en prácticamente toda el área superficial del blanco. La ramificación es promovida por la alta corriente de arco. Una ventaja de la ramificación es la de que proporciona una comparativamente uniforme densidad de corriente iónica en el plasma en toda el área superficial del blanco. Esto puede observarse como una considerablemente uniforme iluminación de la superficie del blanco durante la deposición. Otra ventaja de la ramificación es la de que permite una mejor utilización del blanco. Aun otra ventaja es la de que es posible obtener condiciones de deposición uniformes en toda la cámara de vacío y por consiguiente unos uniformes espesores de recubrimiento y propiedades dentro de un lote.

**[0008]** Preferiblemente la densidad de corriente iónica medida, que es medida en condiciones de saturación de la corriente, es de más de  $6 \text{ mA/cm}^2$ , preferiblemente de más de  $10 \text{ mA/cm}^2$ , y más preferiblemente de entre  $6 \text{ mA/cm}^2$  y  $16 \text{ mA/cm}^2$ , a fin de obtener la alta corriente iónica total y un alto flujo iónico en los sustratos de herramientas de corte. Pueden preverse adicionales blancos con forma de placa, p. ej. para incrementar adicionalmente la corriente iónica aportada al plasma formado, o para prever blancos con forma de placa de distintas composiciones.

**[0009]** Debido a la comparativamente baja polarización de voltaje del sustrato, los iones que inciden en el sustrato de herramienta de corte tendrán una moderada energía cinética, contrariamente a lo que sucede en el caso de los anteriormente mencionados esfuerzos prevalentes para incrementar la energía cinética de los iones a fin de incrementar la movilidad de los iones y con ello mejorar las propiedades mecánicas. Sin embargo, debido a la alta densidad de corriente iónica se aporta un alto flujo iónico en la superficie del sustrato de herramienta de corte de forma tal que la energía total transferida desde los iones que llegan a la superficie del sustrato sigue siendo alta, acrecentando con ello la movilidad de los iones en la superficie, lo cual mejora las propiedades mecánicas sin introducir perjudiciales altos niveles de tensión y/o defectos en el recubrimiento.

**[0010]** Incrementando la corriente de arco se incrementa la corriente iónica total y se incrementa la velocidad de deposición. El incremento de la corriente también promueve la ramificación de la descarga de arco. Preferiblemente la corriente de arco que genera el plasma de arco es de al menos 400 A por blanco con forma de placa. En una realización de la invención la corriente de arco es de al menos 800 A. En otra realización la corriente de arco es de 400-1200 A.

**[0011]** Normalmente, en los sistemas de deposición por arco catódico del estado de la técnica las paredes de la cámara de vacío actúan como ánodo para todos los blancos. Un sistema de deposición según una realización de la invención comprende un sistema anódico que comprende un elemento anódico con una superficie anódica dirigida hacia el blanco con forma de placa y dispuesta concéntricamente con cada blanco con forma de placa y que se extiende lateralmente a lo largo de un borde del mismo. La gran superficie anódica se prevé junto al blanco y el área superficial del ánodo es bastante constante a todo lo largo del blanco con forma de placa a fin de proporcionar unas uniformes condiciones de plasma a todo lo largo, independientemente de las condiciones reinantes en otros sitios en la cámara de vacío. El elemento anódico está preferiblemente en sustancia interrumpido en una parte del borde que discurre al menos parcialmente a lo ancho del blanco a cada lado del blanco con forma de placa en las partes extremas del mismo a fin de adaptar a la medida la forma y el tamaño de la superficie anódica de forma tal que las condiciones de plasma sean uniformes también en las partes extremas. En una realización de la invención el elemento anódico adicionalmente comprende una superficie anódica que se inclina hacia el exterior a medida que el elemento anódico se aparta del blanco con forma de placa en la dirección normal al mismo.

- 5 **[0012]** El elemento anódico de la presente invención puede adicionalmente servir para contribuir a un campo electromagnético equilibrado en todo el blanco con forma de placa. Este campo electromagnético total está adicionalmente influenciado por un autocampo magnético originario de la corriente de arco, un campo magnético originario de los medios para generar un campo magnético, y un campo magnético originario del acoplamiento de corriente del blanco con forma de placa. Una ventaja del campo electromagnético equilibrado es la de que la erosión de los blancos deviene uniforme y la utilización del blanco mejora en comparación con los sistemas de deposición convencionales, en particular para altas corrientes de arco de más de 200 A.
- 10 **[0013]** En una realización de la invención el sistema de deposición comprende unos medios para generar un campo magnético lateral en la superficie del blanco. Este campo magnético lateral puede ser usado para dirigir el desplazamiento del (de los) punto(s) de arco del plasma de arco. Preferiblemente, el campo magnético originario de los medios para generar un campo magnético es moderado, siendo preferiblemente de menos de 100 gausios, y más preferiblemente de 5-40 gausios. Esto redundará en un débil guiado de la descarga de arco, es decir, de las ramas de la descarga de arco, en todo el blanco con forma de placa.
- 15 **[0014]** En una realización del método de la invención la impedancia, que se determina midiendo el voltaje medio y la corriente de arco en el sistema anódico y el blanco con forma de placa, es controlada para que se mantenga dentro de una predeterminada gama de valores, siendo preferiblemente de menos de 0,1 ohmios, y más preferiblemente de menos de 0,05 ohmios, durante la deposición. Esto se logra al menos parcialmente usando un campo magnético lateral comparativamente débil para guiar la descarga de arco, contrariamente a lo que se hace en las técnicas de arco dirigido, donde se usa un fuerte campo magnético. Estas técnicas de arco dirigido son una manera convencional de incrementar ligeramente la corriente de arco, si bien no fácilmente por encima de 200 A, sin perjudicar las propiedades del recubrimiento debido a una incrementada formación de gutículas. Análogamente, con la configuración de ánodo-cátodo de la presente invención y con el uso de una baja impedancia la corriente de arco puede ser incrementada para así proporcionar una efectiva multirramificación de la descarga de arco y un plasma denso a fin de así obtener una alta velocidad de deposición sin perjudicar las propiedades del recubrimiento.
- 20 **[0015]** El débil guiado magnético y el campo eléctrico perfectamente definido entre ánodo y cátodo según realizaciones de la invención mejoran la utilización del blanco puesto que previenen los problemas asociados a las técnicas de arco aleatorio y de arco guiado convencionales. Por ejemplo, en comparación con éstas últimas se evita la típica formación de pistas en el blanco debido a la uniforme distribución de los puntos de arco y a la eficaz ramificación del arco en la superficie del blanco.
- 25 **[0016]** Combinando el débil guiado magnético con el elemento anódico que tiene una gran superficie anódica junto al blanco y proporcionando unas uniformes condiciones de plasma con respecto al campo magnético y una disposición geométrica de la superficie catódica y la superficie anódica en todo el blanco, y en particular en las partes extremas del blanco con forma de placa, puede mantenerse constante la densidad de corriente anódica en todo el blanco, lo cual permite unas corrientes más altas y una erosión uniforme en todo el blanco.
- 30 **[0017]** Equilibrando el campo magnético con respecto al autocampo magnético originario de la corriente de arco, al campo magnético originario de los medios para generar un campo magnético y a un campo magnético originario del acoplamiento de corriente del blanco en toda la superficie del blanco con forma de placa es más uniforme la erosión del blanco con forma de placa transversalmente con respecto a una pista en todo el blanco con forma de placa. Por consiguiente, gracias a la invención es posible mejorar la utilización del blanco.
- 35 **[0018]** Preferiblemente el método de la invención comprende el paso de continuar la deposición hasta haber sido formado un recubrimiento grueso. A los efectos de esta solicitud se entiende por recubrimiento grueso un recubrimiento de al menos 4  $\mu\text{m}$ , preferiblemente de al menos 6  $\mu\text{m}$ , más preferiblemente de al menos 10  $\mu\text{m}$ , y aun más preferiblemente de 10-20  $\mu\text{m}$ . Los recubrimientos pueden ser monocapa o multicapa.
- 40 **[0019]** Un método de la invención puede adicionalmente comprender distintos pasos de pretratamiento o postratamiento. En una realización el recubrimiento formado mediante uno o varios de los pasos anteriormente descritos es sometido a un postratamiento que comprende un chorreado. En un aspecto el chorreado puede proporcionar una superficie más lisa. En otro aspecto el chorreado puede modificar el estado de tensión en el recubrimiento, p. ej. incrementando las tensiones de compresión en el recubrimiento al menos en la parte más externa del recubrimiento. Ambos aspectos pueden contribuir a un mejoramiento del rendimiento de la herramienta de corte recubierta formada mediante deposición según una realización de la invención, en particular para recubrimientos gruesos.
- 45 **[0020]** En una realización del método de la invención se produce un recubrimiento de (Ti,Al)N usando al menos nitrógeno como gas reactivo en la cámara de vacío durante la deposición y uno o varios blancos con forma de placa, que comprenden cada uno Ti y Al como elementos principales. Las herramientas de corte con recubrimientos de (Ti,Al)N de la invención presentan mejor rendimiento debido a la mejor resistencia al desgaste y resistencia al desconchado, en particular para recubrimientos gruesos.
- 50
- 55
- 60

[0021] Otros objetos, ventajas y novedosas características de la invención quedarán de manifiesto a la luz de la siguiente descripción detallada de la invención considerada en conjunción con las reivindicaciones y los dibujos acompañantes.

5

### Breve descripción de los dibujos

[0022] Se describen a continuación realizaciones de la invención haciendo referencia a los dibujos acompañantes, en donde:

10 La FIG. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de deposición útil para la invención, la FIG. 2 es una fotografía de la sonda de plasma usada para medir la densidad de corriente iónica, la FIG. 3 ilustra esquemáticamente la corriente iónica total delante de blancos con forma de placa útiles para la invención y del estado de la técnica determinada a partir de mediciones con sonda de plasma, la FIG. 4 es una vista en sección de un recubrimiento grueso de (Ti,Al)N depositado según una realización de la invención, la FIG. 5 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de un inserto de herramienta de corte recubierto con (Ti,Al)N, en (a) según el estado de la técnica, y en (b) según una realización de la invención, tras torneado de acero inoxidable, y la FIG. 6 es una imagen óptica de luz de un inserto de herramienta de corte recubierto con (Ti,Al)N, en (a) según el estado de la técnica, y en (b) según una realización de la invención, tras fresado de acero (ISO-P).

20

### Descripción Detallada

25 [0023] Se aporta un método para depositar un recubrimiento sobre un sustrato de herramienta de corte mediante un proceso de arco catódico. La FIG. 1a ilustra esquemáticamente un ejemplo de sistema de deposición para la deposición por arco catódico según una realización de la invención. La FIG. 1b muestra una vista frontal y una vista superior de un blanco con forma de placa 1 y un elemento anódico 2 según una realización de la invención. A continuación se describe el método con referencia a este ejemplo no limitativo, si bien, como comprenderá un experto en la materia, el sistema de deposición puede ser modificado de distintas maneras. Como en otros sistemas de deposición física de vapor (DFV) la deposición del recubrimiento se lleva a cabo dentro de una cámara de vacío 3 acoplada a bombas de vacío (no ilustradas) para controlar la presión dentro de la cámara de vacío 3. Uno o varios blancos con forma de placa 1 que actúan como fuentes de material de recubrimiento en el proceso de deposición están previstos en o sobre las paredes de la cámara de vacío 3 con sus superficies de blanco encaradas al interior de la cámara de vacío 3. Los blancos con forma de placa 1 y un sistema anódico, que preferiblemente incluye el elemento anódico 2, están conectados a una fuente de suministro de corriente de arco (no ilustrada) y forman el cátodo y el ánodo del sistema de deposición, respectivamente. Se usa una descarga de arco para evaporar el material del blanco. La descarga de arco es excitada por un excitador (no ilustrado). El sustrato de herramienta de corte 5 a recubrir va preferiblemente en un portapieza 6 en la parte central de la cámara de vacío 3 en línea de visión de los blancos con forma de placa 1. A fin de recubrir uniformemente todos los lados de un sustrato de herramienta de corte 5 el portapieza puede ser giratorio. Los sustratos de herramientas de corte 5 están típicamente conectados por medio del portapieza 6 a una fuente de suministro de voltaje de polarización. La deposición puede ser llevada a cabo en una atmósfera reactiva de forma tal que el material de blanco evaporado y un suministro de gas reactivo aportado a través de una entrada de gas al interior de la cámara de vacío 3 reaccionan para así formar un recubrimiento compuesto.

45 [0024] Un método según una realización de la invención comprende los pasos de:  
 - prever un sistema anódico 2 y un blanco con forma de placa 1 que forman una configuración de ánodo-cátodo para deposición por arco catódico dentro de una cámara de vacío 3;  
 - prever uno o varios sustratos de herramientas de corte 5 en la cámara de vacío 3; y  
 - generar un plasma mediante una descarga de arco visible como uno o varios puntos de arco en la superficie del blanco con forma de placa 1 aplicando una corriente de arco de al menos 200 A entre el blanco con forma de placa 1 y el sistema anódico 2 de forma tal que una densidad de corriente iónica en una dirección normal a la superficie del blanco en el centro del blanco con forma de placa 1, siendo la densidad de corriente iónica medida usando una sonda de plasma 7 con una superficie de sonda 8 encarada al blanco con forma de placa 1 a una distancia de aproximadamente 15 cm de la superficie del blanco, multiplicada por el área superficial total del blanco con forma de placa 1 es de al menos 5 A.

50

60 [0025] Preferiblemente la densidad de corriente iónica medida es de más de 6 mA/cm<sup>2</sup>, preferiblemente de más de 10 mA/cm<sup>2</sup>, y más preferiblemente de entre 6 mA/cm<sup>2</sup> y 16 mA/cm<sup>2</sup>, y el área superficial del blanco con forma de placa es de más de 500 cm<sup>2</sup>, y preferiblemente de más de 1000 cm<sup>2</sup>, siempre que la densidad de corriente iónica multiplicada por el área superficial sea de al menos 5 A. La densidad de corriente iónica es medida con la superficie 8 de sonda de plasma polarizada a -70 V con respecto a un potencial de voltaje del sistema anódico 2. A este alto voltaje no hay una significativa variación de la densidad de corriente iónica con el voltaje, es decir que la corriente iónica es en sustancia saturada. La FIG. 2 es una fotografía de la sonda de plasma usada para las mediciones. Se explica más ampliamente la medición de la densidad de corriente iónica en conexión con el ejemplo 1.

**[0026]** Un método según otra realización de la memoria descriptiva comprende los pasos de:

- prever un sistema anódico 2 y un blanco con forma de placa 1 que forman una configuración de ánodo-cátodo para deposición por arco catódico dentro de una cámara de vacío 3 que es parte de un sistema de deposición;

- prever uno o varios sustratos de herramientas de corte 5 en la cámara de vacío 3;

- generar un plasma mediante una descarga de arco visible como uno o varios puntos de arco en la superficie del blanco con forma de placa 1 aplicando una corriente de arco de al menos 200 A entre el blanco con forma de placa 1 y el sistema anódico; y

- aplicar al sustrato de herramienta de corte 5 un voltaje de polarización  $V_S$  que es negativo con respecto a un potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico 2 y un voltaje catódico  $V_C$  que es negativo con respecto al potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico 2, en donde

$$V_S - V_A > -30 \text{ V},$$

$$-20 \text{ V} < V_C - V_A < 0 \text{ V}, \text{ y}$$

$$-10 \text{ V} \leq V_S - V_C \leq 10 \text{ V}.$$

**[0027]** Esta realización puede ser combinada con la realización anterior, es decir que entonces el método comprende una alta corriente iónica total en combinación con un moderado nivel de polarización.

**[0028]** A los efectos de esta solicitud se entiende que el voltaje de polarización  $V_S$  es un nivel de voltaje máximo. El voltaje de polarización puede ser proporcionado por una fuente de suministro de voltaje de polarización. El voltaje de polarización puede ser un voltaje de c.c. o un voltaje pulsado. En un sistema de deposición adaptado para un voltaje de polarización pulsado según una realización de la invención la fuente de suministro de voltaje de polarización comprende una unidad generadora de impulsos. La fuente de suministro de voltaje de polarización está preferiblemente conectada a una unidad de control que supervisa la salida de voltaje de polarización de la fuente de suministro de voltaje de polarización durante la deposición y ajusta el suministro de energía eléctrica para obtener el deseado nivel de voltaje de polarización.

**[0029]** En una realización de la invención  $V_S - V_C \leq 0 \text{ V}$ . En otra realización de la invención  $-19 \text{ V} \leq V_C - V_A \leq -15 \text{ V}$ , y preferiblemente  $-18 \text{ V} \leq V_C - V_A \leq -16 \text{ V}$ . En aun otra realización de la invención  $-30 \text{ V} \leq V_S - V_A \leq -15 \text{ V}$ , y preferiblemente  $-25 \text{ V} \leq V_S - V_A \leq -15 \text{ V}$ .

**[0030]** Preferiblemente la corriente de arco es de más de 200 A, y preferiblemente de 400 A por cada blanco con forma de placa. En una realización de la invención la corriente de arco es de al menos 800 A por cada blanco con forma de placa. En otra realización la corriente de arco es de 400-1200 A, y preferiblemente de 600-1200 A.

**[0031]** La descarga de arco suministra iones al plasma. Una medida de la cantidad de iones que son suministrados al plasma es la corriente iónica total del blanco con forma de placa como se ha definido anteriormente. Con una pluralidad de blancos con forma de placa el suministro de iones puede ser determinado sumando la corriente iónica total de cada uno de los blancos con forma de placa. En una realización de la invención la suma de corrientes iónicas totales de un respectivo blanco con forma de placa dividida por el volumen de la cámara de vacío es de al menos  $3 \text{ A/m}^3$ .

**[0032]** Preferiblemente la corriente de arco es una corriente continua suministrada por una fuente de suministro de energía eléctrica conectada al sistema de deposición. La corriente continua no es necesariamente constante a lo largo del tiempo. A pesar de que la corriente de arco puede presentar una considerable variación durante la deposición debido a la contribución individual de las descargas de arco de corta duración, esta corriente continua no deberá mezclarse con técnicas de deposición pulsada. La deposición pulsada puede ser usada por las mismas razones como en los procesos de deposición del estado de la técnica.

**[0033]** En una realización del método de la invención la impedancia, que es determinada midiendo la corriente de arco y el voltaje medio a través del sistema anódico y del blanco con forma de placa, es controlada para que se mantenga dentro de una predeterminada gama de valores, siendo preferiblemente de menos de 0,1 ohmios, y más preferiblemente de menos de 0,05 ohmios, durante la deposición, de forma tal que el plasma de arco es casi incontrolado. Esto se logra al menos parcialmente usando un campo magnético lateral comparativamente débil para guiar la descarga de arco, contrariamente a lo que se hace en las técnicas de arco guiado, donde se usa un fuerte campo magnético. Estas técnicas de arco guiado son una manera convencional de incrementar la corriente de arco sin perjudicar las propiedades del recubrimiento por causa de un incremento de la formación de gutículas. Con la configuración de ánodo-cátodo de la presente invención y con el procedimiento de usar una baja impedancia según esta realización la corriente de arco puede ser incrementada para así proporcionar una eficaz multirramificación de la descarga de arco y un plasma denso a fin de proporcionar una alta velocidad de deposición sin perjuicio de las propiedades del recubrimiento. Sin embargo debe apreciarse que la impedancia viene determinada no tan sólo por el campo magnético aplicado, sino también por otros parámetros tales como la colocación del ánodo, el diseño del ánodo, la presión de gas, el diseño del cátodo, etc. Por consiguiente, deberían considerarse todos los parámetros al limitar la impedancia.

5 **[0034]** Para lograr el control de la impedancia el sistema de deposición puede comprender una unidad de control y una unidad de supervisión de la impedancia, preparadas de forma tal que sobre la base de la medición de la impedancia entre el ánodo y el blanco con forma de placa realizada por la unidad de control de la impedancia la unidad de control ajusta la magnitud del campo magnético lateral generado por los medios para generar un campo magnético lateral a fin de mantener a la impedancia dentro de una predeterminada gama de valores. La unidad de control puede ser controlada automática o manualmente.

10 **[0035]** En una realización el método adicionalmente comprende el paso de equilibrar el autocampo magnético originario de la corriente de arco, el campo magnético originario de los medios para generar un campo magnético y un campo magnético originario del acoplamiento de corriente del blanco. El equilibrado es preferiblemente llevado a cabo por medio de un proceso empírico iterativo con el que se persigue lograr una distribución uniforme de los puntos de arco en toda la superficie del blanco con forma de placa.

15 **[0036]** El equilibrado de los campos magnéticos no uniformes originarios del acoplamiento de corriente puede lograrse a base de prever una distribución asimétrica de imanes permanentes debajo del blanco con forma de placa. A modo de ejemplo, un sistema catódico de un sistema de deposición según la invención puede comprender un blanco con forma de placa dispuesto sobre una placa de apoyo conductora. La placa de apoyo comprende al menos dos barras conductoras que discurren a lo largo de la misma. Estas barras conductoras están conectadas a la fuente de suministro de la energía eléctrica del arco en extremos opuestos del blanco con forma de placa y de las barras conductoras. Por consiguiente la corriente de arco entra en las barras conductoras desde extremos opuestos del blanco con forma de placa y es propagada a través de las barras conductoras y de la placa de apoyo conductora al blanco con forma de placa. Con esta configuración la densidad de corriente en cada barra conductora es más alta junto a la entrada de la corriente en la barra conductora y se agota hacia el extremo opuesto. En consecuencia, el campo magnético originario del acoplamiento de corriente a través de las barras conductoras es también decreciente a lo largo de la barra conductora. El efecto de esto puede ser equilibrado usando imanes permanentes distribuidos asimétricamente y dispuestos de forma tal que devenga uniforme el campo magnético en todo el blanco con forma de placa.

20 **[0037]** En una realización de la invención el método adicionalmente comprende el paso de prever un sistema anódico que comprende un elemento anódico dispuesto concéntricamente en torno a dichos blancos con forma de placa que son uno o varios. La FIG. 1a ilustra esquemáticamente una vista lateral del elemento anódico. La FIG. 1b ilustra esquemáticamente una vista frontal y una vista superior del elemento anódico y del blanco con forma de placa. El elemento anódico está preferiblemente en sustancia interrumpido en una parte que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la anchura del blanco con forma de placa en partes extremas opuestas del blanco con forma de placa. En una variante de esta realización el elemento anódico comprende una superficie anódica que se inclina hacia el exterior a medida que el elemento anódico se distancia del blanco con forma de placa en la dirección normal al mismo. En muchos sistemas convencionales las paredes de la cámara de vacío son solamente usadas como ánodos y el elemento anódico de la presente invención puede ser usado en combinación con una configuración de este tipo. El elemento anódico está preferiblemente al mismo potencial de voltaje como el resto del sistema anódico, típicamente puesto a tierra, pero sin quedar limitado a esto.

25 **[0038]** Los materiales adecuados para ser depositados usando el método de la invención son compuestos de un primer elemento o de primeros elementos seleccionados de entre los elementos del Grupo 4a, del Grupo 5a y del Grupo 6a, Si y Al y de un segundo elemento o de segundos elementos seleccionados de entre los miembros del grupo que consta de N, B, O y C. Los compuestos preferidos comprenden primeros elementos seleccionados de entre los miembros del grupo que consta de Ti, Al, Si, Zr, Ta, Nb, W, V, Hf, Y y Cr, y más preferiblemente nitruros seleccionados de entre los miembros del grupo que consta de (Ti, Al)N, (Ti, Al, Si)N, (Ti, Si)N, (Al, Cr)N, (Ti, Al, Cr)N, y (Ti, Al, Cr, Si)N, los cuales habitualmente proporcionan recubrimientos tenaces. El recubrimiento puede ser un recubrimiento monocapa o un recubrimiento multicapa que comprenda capas alternativas que tengan distintas propiedades con respecto p. ej. a la composición, a los elementos, al espesor de capa, etc. Los adecuados sustratos de herramienta de corte están hechos de carburo cementado, y en particular de carburo cementado de grano fino, cermets, acero rápido, nitrato de boro cúbico y diamante policristalino. Como apreciará un experto en la materia, distintos materiales del blanco se comportarán de modo distinto y por consiguiente pueden ser distintos para los distintos materiales los voltajes de polarización, las densidades de corriente iónica y las corrientes iónicas totales.

30 **[0039]** En una realización del método de la invención son depositados recubrimientos de (Ti,Al)N sobre sustratos de herramientas de corte usando nitrógeno como gas reactivo en la cámara de vacío durante la deposición y uno o varios blancos con forma de placa que comprenden Ti y Al como elementos principales. La composición de los blancos con forma de placas y por consiguiente la composición de los blancos con forma de placas puede ser variada para obtener distintas propiedades del recubrimiento. A modo de ejemplo, pueden usarse blancos que consten de Ti al 40% y Al al 60% para formar recubrimientos de  $Ti_{40}Al_{60}N$  o bien pueden usarse blancos que consten de Ti al 60% y Al al 40% para formar recubrimientos de  $Ti_{60}Al_{40}N$ . La relación entre Ti y Al en el recubrimiento puede ser ligeramente distinta de la relación existente en los blancos. Así, la relación 40/60 anteriormente indicada es una relación aproximada.

**Ejemplo 1**

**[0040]** A fin de evaluar la corriente iónica total generada por un blanco con forma de placa según la presente invención fue usada una sonda de plasma para medir la densidad de corriente iónica delante de un blanco con forma de placa. Como se muestra en la fotografía de la FIG. 2, la sonda de plasma 7 comprende un cilindro de acero inoxidable conectado en un extremo por medio de un cable y truncado en el otro extremo por un elemento sensor interior con una superficie sensora circular 8 con un diámetro de 1 cm, estando dicho elemento sensor hecho de acero inoxidable. La superficie sensora 8 está aislada del cilindro y por consiguiente recoge iones en una sola dirección. Un cable en el extremo opuesto del cilindro conecta el cable a un osciloscopio y una fuente de suministro de energía eléctrica. Para llevar a cabo la medición la sonda de plasma 7 fue colocada enfrente del blanco con forma de placa con la superficie sensora 8 encarada al blanco con forma de placa 1 a una distancia de aproximadamente 15 cm del centro de la superficie del blanco y la superficie sensora 8 fue polarizada a -70 V por medio del cable. A -70 V se considera que la corriente iónica está saturada y no varía mucho con la variación del voltaje de polarización. Fue excitada una descarga de arco y la densidad de corriente iónica fue medida para distintas corrientes de arco. Esta medición fue llevada a cabo en un sistema de deposición convencional con un blanco con forma de placa de  $Ti_{40}Al_{60}$  de 16 cm de  $\varnothing$  usando corrientes de arco de 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200 A, a lo que de aquí en adelante se denomina Ejemplo 1a, y en un sistema de deposición según la presente invención con un blanco con forma de placa de  $Ti_{40}Al_{60}$  de 74 x 19 cm usando corrientes de arco de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 A, a lo que de aquí en adelante se denomina Ejemplo 1b. Las mediciones fueron llevadas a cabo en una atmósfera de nitrógeno a una presión de 3,5 Pa y a una temperatura de 250°C y 400°C, respectivamente. La FIG. 3 ilustra esquemáticamente la corriente iónica total determinada multiplicando la densidad de corriente iónica medida por el tamaño del blanco. La corriente iónica del sistema de deposición en el que se usan los blancos con forma de placa de mayor tamaño es significativamente mayor que la que se da en el sistema de deposición convencional. Para una corriente de arco de 180 A la corriente iónica total en el sistema de deposición del estado de la técnica es de 3,3 kA y para una corriente de arco del sistema de deposición según la invención es de 8,7 kA.

**Ejemplo 2**

**[0041]** Han sido depositados recubrimientos de (Ti,Al)N sobre sustratos de inserto de herramienta de corte de carburo cementado de grano fino usando métodos convencionales, a lo que se denomina de aquí en adelante Ejemplo 2a y Ejemplo 2c, y métodos según la invención, a lo que se denomina de aquí en adelante Ejemplo 2b y Ejemplo 2d.

**[0042]** El recubrimiento de referencia del Ejemplo 2a fue depositado en un sustrato de inserto de herramienta de corte de CNMG120408-MM mediante deposición por arco catódico usando un equipo de producción por DFV estándar. Se usó como cátodo un blanco con forma de placa de 16 cm de  $\varnothing$  con una composición de  $Ti_{33}Al_{67}N$ . Las paredes de la cámara de vacío estaban conectadas a tierra y actuaban como ánodo. La deposición fue llevada a cabo en una atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 600°C, una presión de 1,0 Pa, un voltaje catódico medio de aproximadamente -22 V y un voltaje de polarización de c.c. de -100 V con respecto al ánodo, y una corriente de arco de aproximadamente 150 A. El espesor del recubrimiento medido en el lado del flanco del inserto de herramienta de corte recubierto fue de 3,5  $\mu m$ .

**[0043]** El recubrimiento del Ejemplo 2b fue depositado mediante deposición por arco catódico sobre un inserto de herramienta de corte de CNMG 120408-NN en un sistema de deposición en el que se usaba un blanco con forma de placa de 74 x 19 cm con una composición de  $Ti_{40}Al_{60}N$  como cátodo. Las paredes de la cámara de vacío y un elemento anódico dispuesto concéntricamente en torno al blanco con forma de placa estaban conectados a tierra y actuaron como ánodo. La deposición fue llevada a cabo en una atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 450°C, una presión de 3,0 Pa, un voltaje catódico de -15 V y un voltaje de polarización de -20 V con respecto al voltaje anódico, y una corriente de arco de 400 A. El espesor del recubrimiento medido en el lado del flanco del inserto de herramienta de corte recubierto fue de 17  $\mu m$ . Tras la deposición el recubrimiento fue postratado por chorreado con arena en húmedo. La FIG. 4 muestra una micrografía de microscopio electrónico de barrido en sección de un recubrimiento según el Ejemplo 2b.

**[0044]** El recubrimiento de referencia del Ejemplo 2c fue depositado sobre un sustrato de herramienta de corte de R390-11 mediante deposición por arco catódico usando la misma configuración de deposición y de ánodo-cátodo como en el Ejemplo 2a, pero con dos blancos de distinta composición y girando el sustrato de herramienta de corte enfrente de los blancos durante la deposición de forma tal que se formó un recubrimiento multicapa que tenía una composición de  $Ti_{50}Al_{50}$ . Los blancos tenían una composición de  $Ti_{33}Al_{67}$  y una composición de  $Ti_{84}Al_{16}$ , respectivamente. La deposición fue llevada a cabo en una atmósfera de nitrógeno a una temperatura de 600°C, una presión de 2,5 Pa, un voltaje catódico de aproximadamente -22 V para los blancos de  $Ti_{33}Al_{67}$ , y de aproximadamente -25 V para los blancos de  $Ti_{84}Al_{16}$  y un voltaje de polarización del sustrato de -60 V con respecto al ánodo, y una corriente de arco de aproximadamente 150 A. El espesor del recubrimiento medido en el lado del flanco del inserto de herramienta de corte recubierto fue de 3  $\mu m$ .

**[0045]** El recubrimiento del Ejemplo 2d fue depositado sobre un sustrato de herramienta de corte de R390-11 mediante deposición por arco catódico usando la misma configuración de deposición y de ánodo-cátodo como en el Ejemplo 2b y con la misma composición del blanco. La deposición fue llevada a cabo en una atmósfera de nitrógeno a una

temperatura de 450°C, una presión de 3,5 Pa, un voltaje catódico de -17 V y un voltaje de polarización del sustrato de -26 V con respecto al ánodo, y una corriente de arco de 400 A. El espesor del recubrimiento medido en el lado del flanco del inserto de herramienta de corte recubierto fue de 6 µm.

### 5 Ejemplo 3

10 [0046] Los recubrimientos de los Ejemplos 2a y 2b fueron sometidos a ensayo mediante torneado de acero inoxidable (304L) con refrigerante, con una velocidad de corte de 100 m/min. y un avance de 0,36 mm/revolución. La FIG. 5a es una imagen de microscopio electrónico de barrido del recubrimiento del Ejemplo 2a tras el ensayo. La FIG. 5b es una imagen de microscopio electrónico de barrido del recubrimiento del Ejemplo 2b tras el ensayo y el mordentado. Como se muestra en las imágenes, el recubrimiento del Ejemplo 2b casi no se ha visto afectado, y en particular hay un notable mejoramiento con respecto a la resistencia al desconchado.

### 15 Ejemplo 4

20 [0047] Los recubrimientos del Ejemplo 2c y del Ejemplo 2d fueron sometidos a ensayo realizando un fresado de acero (ISO-P) sin refrigerante y con una velocidad de corte de 280 m/min., un avance de diente de 0,24 mm, un corte axial de una profundidad de 15 mm y un corte radial de una profundidad de 2 mm. La FIG. 6a es una imagen óptica de luz del recubrimiento del Ejemplo 2c tras el ensayo. La FIG. 6b es una imagen óptica de luz del recubrimiento del Ejemplo 2d tras el ensayo. La resistencia a la formación de grietas con separación constante es significativamente mejor en el Ejemplo 2d en comparación con el Ejemplo 2c.

25 [0048] Las expresiones tales como "lateral", "frontal", "superior", "enfrente de", "longitud", "anchura", etc. se usan tan sólo con fines ilustrativos y no pretenden limitar la invención a una orientación específica.

30 [0049] Mientras que la invención ha sido descrita en conexión con lo que se considera actualmente que son las realizaciones más prácticas y preferidas, debe entenderse que la invención no debe quedar limitada a las realizaciones descritas, sino que por el contrario pretende cubrir todas las diversas modificaciones y disposiciones equivalentes dentro del alcance de las reivindicaciones adjuntas.

## REIVINDICACIONES

1. Método para depositar un recubrimiento de TiAlN sobre un sustrato de herramienta de corte usando un proceso de deposición por arco catódico y en particular un proceso de deposición por arco catódico de alta intensidad, comprendiendo dicho método los pasos de:
- 5 - prever un sistema anódico y un blanco con forma de placa que formen una configuración de ánodo-cátodo para deposición por arco catódico dentro de una cámara de vacío, en donde dicho blanco con forma de placa comprende Ti y Al como elementos principales;
- 10 - prever al menos un sustrato de herramienta de corte en la cámara de vacío que comprende nitrógeno como gas reactivo; y
- generar un plasma mediante una descarga de arco visible como al menos un punto de arco en la superficie del blanco con forma de placa a base de aplicar una corriente de arco de al menos 200 A entre el blanco con forma de placa y el sistema anódico de forma tal que desde el blanco con forma de placa son emitidos iones de la descarga de arco para así formar el recubrimiento sobre el sustrato de herramienta de corte que es al menos uno;
- 15 - en cuyo método una densidad media de corriente iónica en una dirección normal a la superficie del blanco, medida usando una superficie de sonda encarada al blanco a una distancia de 15 cm de la superficie del blanco, multiplicada por el área superficial total del blanco con forma de placa es de al menos 5 A;
- estando dicho método **caracterizado por el hecho de que** adicionalmente comprende el paso de aplicar al sustrato de herramienta de corte un voltaje de polarización  $V_S$  que es negativo con respecto a un potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico y un voltaje catódico  $V_C$  que es negativo con respecto al potencial de voltaje  $V_A$  del sistema anódico, en donde:
- 20  $V_S - V_A > -30 \text{ V}$ ,
- $-20 \text{ V} < V_C - V_A < 0 \text{ V}$ , y
- 25  $-10 \text{ V} \leq V_S - V_C \leq 10 \text{ V}$ .
2. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que** el blanco con forma de placa tiene un área superficial de más de  $500 \text{ cm}^2$ .
- 30 3. Método según la reivindicación 1, en donde la densidad de corriente iónica es de más de  $6 \text{ mA/cm}^2$ .
4. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que:**
- $V_S - V_C \leq 0 \text{ V}$ .
- 35 5. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que:**
- $-19 \text{ V} \leq V_C - V_A \leq 15 \text{ V}$ .
6. Método según la reivindicación 1, **caracterizado por el hecho de que:**
- 40  $-30 \text{ V} \leq V_S - V_A \leq 15 \text{ V}$ .
7. Método según la reivindicación 1, en donde la corriente de arco es  $\geq 400 \text{ A}$ .
8. El método de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** comprende además el paso de generar en la superficie del blanco un campo magnético lateral para dirigir el desplazamiento de dichos puntos de arco de la descarga de arco que son al menos uno.
- 45 9. El método de la reivindicación 8, **caracterizado por el hecho de que** comprende además el paso de controlar la magnitud del campo magnético lateral para controlar la impedancia medida a través del blanco con forma de placa y del sistema anódico para que sea  $< 0,1$  ohmios.
- 50 10. Método según la reivindicación 8 o 9, **caracterizado por el hecho de que** comprende además el paso de equilibrar un autocampo magnético originario de la corriente de arco, el campo magnético y un campo magnético originario del acoplamiento de corriente del blanco con forma de placa.
- 55 11. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, **caracterizado por el hecho de que** el campo magnético lateral es de menos de 100 gausios.
12. Método según cualquiera de las reivindicaciones 8-10, **caracterizado por el hecho de que** comprende además el paso de prever una distribución asimétrica de imanes permanentes debajo del blanco a fin de equilibrar un campo magnético originario del acoplamiento de corriente del blanco con forma de placa de forma tal que sea uniforme un campo magnético en todo el blanco con forma de placa.
- 60 13. Método según cualquiera de las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** el espesor del recubrimiento es de al menos  $10 \text{ }\mu\text{m}$ .

5

14. Método según las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** la corriente iónica total originaria de todos los blancos con forma de placas dividida por un volumen interior de la cámara de vacío es de al menos  $3 \text{ A/m}^3$ .
15. Método según las reivindicaciones precedentes, **caracterizado por el hecho de que** comprende además un postratamiento por chorreado del recubrimiento tras la deposición.

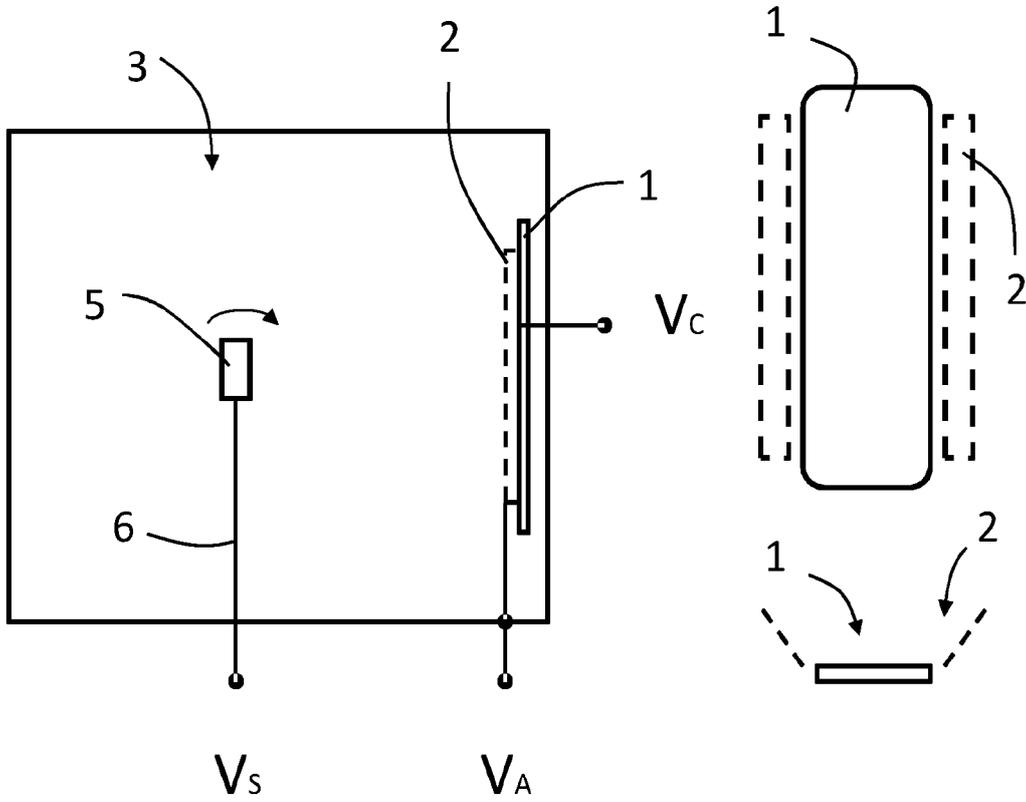


FIG. 1a

FIG. 1b

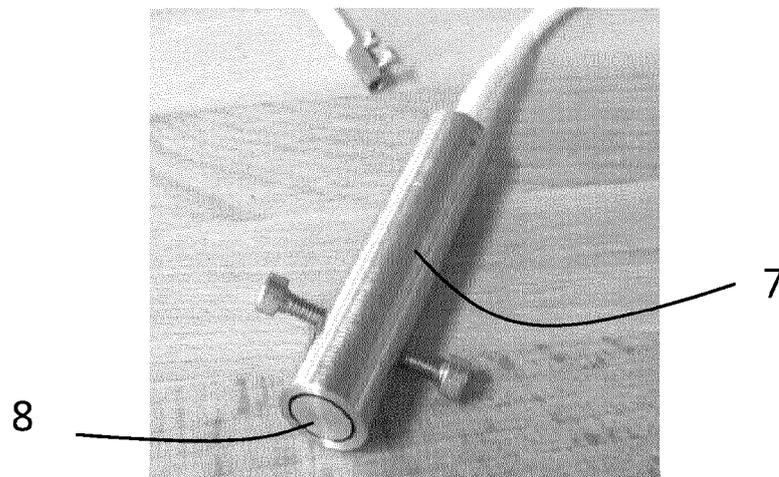


FIG. 2

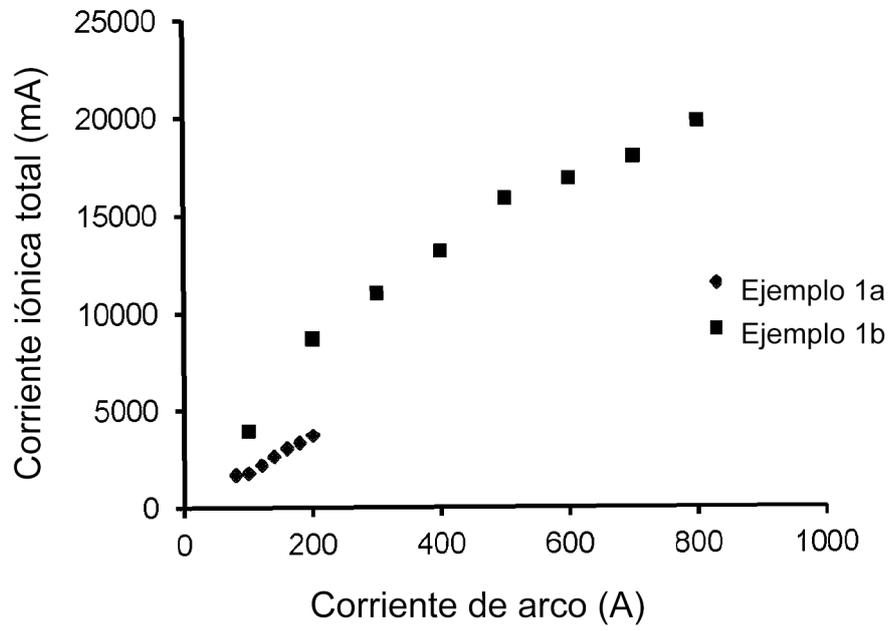


FIG. 3

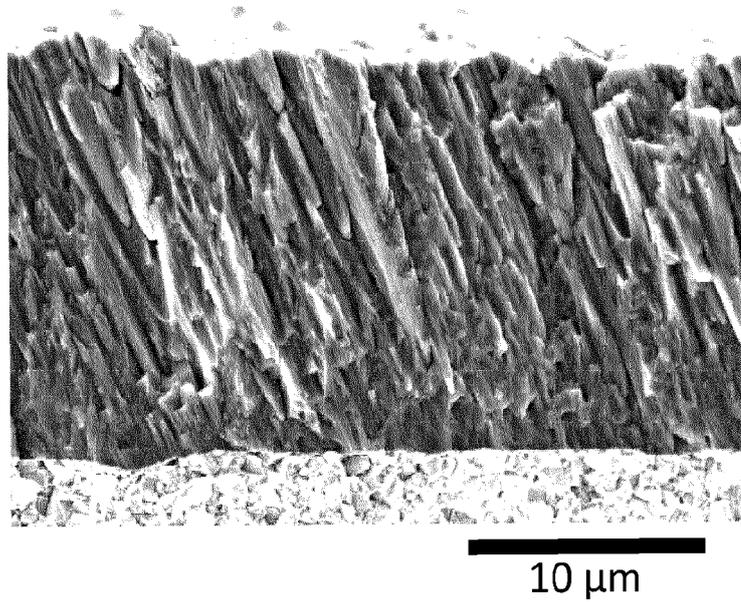


FIG. 4

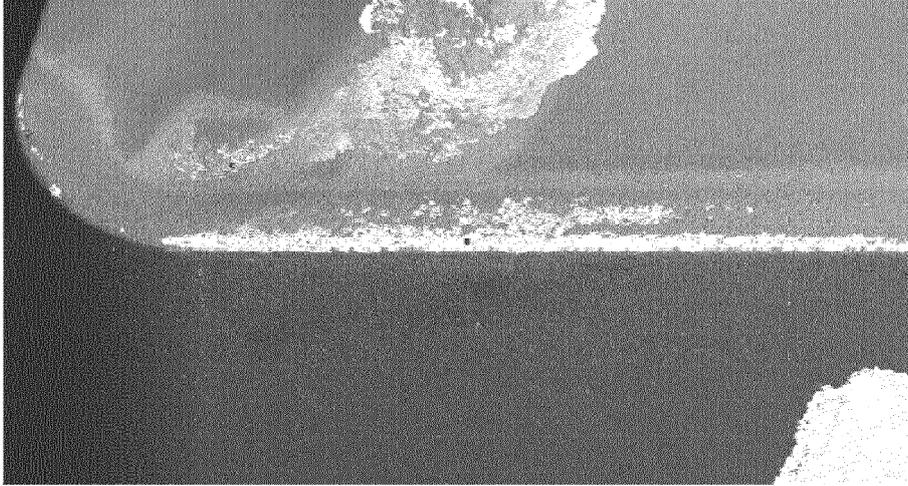


FIG. 5a  
(Estado de la técnica)

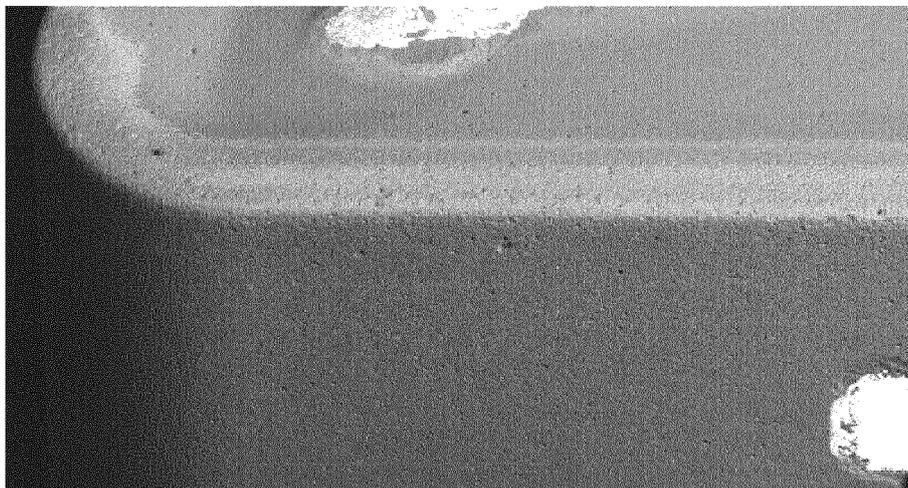


FIG. 5b

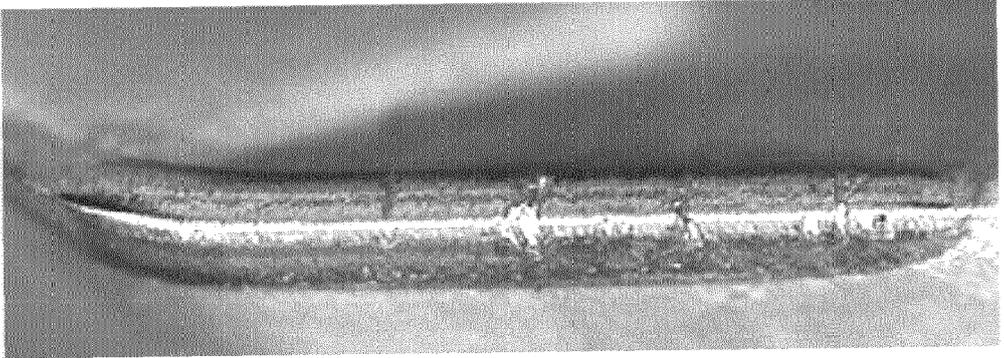


FIG. 6a  
(Estado de la técnica)

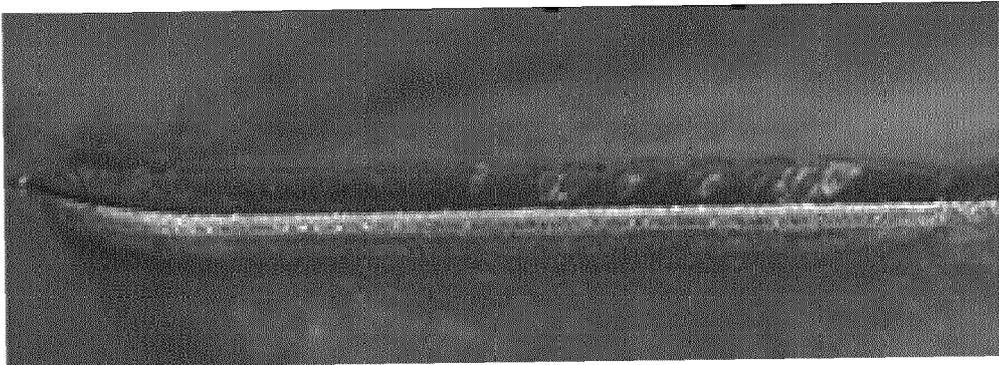


FIG. 6b