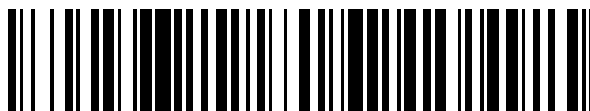


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 739 283**

51 Int. Cl.:

C23C 14/32 (2006.01)

C23C 14/06 (2006.01)

C23C 14/58 (2006.01)

H01J 37/32 (2006.01)

B23B 27/14 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **19.09.2012** **PCT/EP2012/068455**

87 Fecha y número de publicación internacional: **28.03.2013** **WO13041576**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **19.09.2012** **E 12766413 (4)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **17.04.2019** **EP 2758561**

54 Título: **Herramienta de corte recubierta**

30 Prioridad:

19.09.2011 SE 1150851

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la
traducción de la patente:
30.01.2020

73 Titular/es:

LAMINA TECHNOLOGIES SA (100.0%)

Rue de Pythagore 2
1400 Yverdon-les-Bains, CH

72 Inventor/es:

BÖHLMARK, JOHAN;
CURTINS, HERMANN y
GENVAD, AXEL

74 Agente/Representante:

ISERN JARA, Jorge

ES 2 739 283 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

Herramienta de corte recubierta

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a una herramienta de corte recubierta que comprende un sustrato y un recubrimiento de PVD comparativamente grueso.

10 Antecedentes

La mayoría de las herramientas de corte para torneear, fresar, perforar u otro mecanizado para la formación de esquirlas se recubren hoy en día con un recubrimiento resistente al desgaste depositado usando técnicas de deposición química de vapor (CVD) o deposición física de vapor (PVD) para prolongar la vida útil de la herramienta y/o para aumentar la productividad. En general, se aspira a un recubrimiento comparativamente grueso puesto que esto mejora la resistencia al desgaste. Esto se realiza fácilmente para recubrimientos de CVD. Sin embargo, los recubrimientos de PVD tienen varias propiedades atractivas en comparación con los recubrimientos de CVD, en particular la capacidad para proporcionar esfuerzo de compresión en el recubrimiento que da tenacidad mejorada en comparación con los recubrimientos de CVD. Estos esfuerzos de compresión se originan esencialmente a partir de diferencias en la expansión térmica entre el sustrato y el recubrimiento y un efecto de densificación debido a un bombardeo de iones de alta energía durante la deposición. Este efecto ventajoso del bombardeo de iones está difícilmente presente en todas las técnicas de PVD tales como la evaporación térmica, pero prevalece en la deposición por pulverización y con la deposición de arco catódico el esfuerzo de compresión puede llegar a ser excesivamente alto, frecuentemente superior a 5 GPa, debido a la alta energía cinética de los iones que impactan. La polarización del sustrato es una forma convencional de amentar la energía cinética y se considera necesaria para recubrimientos duros para obtener propiedades mecánicas deseadas. La densificación normalmente conduce a aumentar la dureza y mejorar la resistencia al desgaste del material de recubrimiento. En combinación con una tasa de deposición posiblemente alta, esto hace que las técnicas de deposición por arco catódico sean una alternativa interesante para la deposición de recubrimientos para herramientas de corte.

Sin embargo, se pueden generar defectos debido al bombardeo con iones demasiado pesados, y esfuerzos de compresión demasiado altos provocarán con el tiempo la deslaminación del recubrimiento, espontáneamente o debido a fuerzas que actúan sobre el recubrimiento durante el mecanizado, en particular para recubrimientos gruesos. Así, el nivel de esfuerzo en el recubrimiento normalmente está controlado para obtener el esfuerzo de compresión más alto posible sin alterar demasiado la adhesión del recubrimiento. En particular, el descascarillado a lo largo del borde de una plaquita de herramienta de corte recubierta es un problema bien conocido. Por ejemplo, el documento de patente US 7.838.132 desvela la deposición con arco catódico de recubrimientos de (Ti,Al)N de aproximadamente 3 µm de espesor sobre sustratos de carburo cementados usando una intensidad de arco de 200 A a polarización de sustrato diferente que varía desde -40 V hasta -200 V y llega a la conclusión de que existe un óptimo a aproximadamente -70 V donde todavía se pueden lograr altos esfuerzos de compresión, es decir, superiores a 4 GPa, y buena adhesión. Otras técnicas de polarización sofisticadas pueden permitir el alivio del esfuerzo y la reordenación de enlaces durante la deposición y permitir así una energía cinética comparativamente alta sin padecer gravemente problemas de deslaminación.

El documento de patente US2010/0215912 se refiere a proporcionar miembros de recubrimiento duro que tienen un recubrimiento grueso que tiene un reducido esfuerzo de compresión, para obtener alta adhesión y resistencia a las melladuras.

El documento de patente US2010/0260561 desvela herramientas de corte recubiertas, en las que el esfuerzo interno integrado en la región superficial del recubrimiento se ajusta a un intervalo particular para mejorar las propiedades del recubrimiento.

Por consiguiente, los procesos de deposición con arco catódico del estado de la técnica sufren una contradicción entre el espesor de recubrimiento, que es crucial para la resistencia al desgaste, y la calidad del recubrimiento con respecto a las propiedades mecánicas, en particular la tenacidad.

Sumario de la invención

Es un objeto de la invención mejorar la resistencia al desgaste de herramientas de corte recubiertas sin deteriorar otras propiedades tales como la resistencia al descascarillado. Es un objeto adicional proporcionar una herramienta recubierta por PVD adecuada para torneado en acero y otras aplicaciones en las que normalmente se usan los recubrimientos de CVD. Esto se lleva a cabo por una herramienta de corte recubierta como se define por la reivindicación 1.

Una herramienta de corte recubierta según la invención comprende un sustrato y un recubrimiento, donde el recubrimiento comprende al menos una capa de compuesto depositada por deposición con arco catódico y tiene un

espesor superior a 15 μm y hasta 30 μm . Por espesores se entiende para este fin el espesor en el lado de la herramienta de corte recubierta, es decir, cualquiera de un lado de flanco o un lado inclinado, que tiene el recubrimiento más grueso. El espesor se mide preferentemente por microscopía óptica de luz sobre secciones transversales pulidas, aproximadamente 0,2 mm desde la línea de borde. Para superficies irregulares, tales como aquellas sobre, por ejemplo, taladros y fresas terminales, los espesores dados en el presente documento se refieren al espesor medido sobre cualquier superficie razonablemente plana o una superficie que tiene una curvatura relativamente grande y cierta distancia alejada de cualquier borde o esquina. Por ejemplo, en un taladro, las mediciones se deben realizar en la periferia. El espesor supera los espesores de recubrimiento de las herramientas de corte recubiertas del estado de la técnica producidas por PVD y así da resistencia al desgaste de cráter superior mientras que todavía rinde tan bien como o mejor con respecto al desgaste de flancos y al descascarillado. La capa de compuesto comprende Al, y N.

La capa de compuesto tiene resistencia al desgaste duro, en particular con buena resistencia al desgaste abrasivo.

La capa de compuesto se puede proporcionar en forma de una única capa o una estructura multicapa. Por estructura multicapa se entiende en el presente documento una pila de capas individuales, al menos 5 hasta varios miles de capas individuales, que comprende preferentemente al menos dos capas individuales repetidamente alternantes que tienen diferentes propiedades con respecto a, por ejemplo, la composición. La repetición puede ser periódica o aperiódica. Contrario a la estructura multicapa, la única capa tiene sustancialmente las mismas propiedades a través del espesor de la única capa. Sin embargo, una o más propiedades se pueden variar continuamente en parte o a través del espesor de la única capa, la capa individual de la estructura multicapa o la estructura multicapa. A modo de ejemplo se puede formar un gradiente de composición.

Por composición promedio se entiende en el presente documento la composición medida en una sección de una sección transversal del recubrimiento. Cuando se mide por, por ejemplo, espectroscopía de rayos X por energía dispersiva (EDS) en una sección transversal del recubrimiento, la resolución espacial de la medición puede no ser suficiente para resolver la composición de capas individuales de una estructura multicapa sin contribución de las capas adyacentes debido al bajo espesor de las capas. Lo que se puede medir fácilmente es la composición promedio en una sección de la estructura multicapa que incluye más de una capa individual.

En una realización de la invención, la capa de compuesto es una única capa de $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ con una composición promedio de $0,5 < x < 0,7$.

En otra realización de la invención, la capa de compuesto es una única capa de $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ con una composición promedio de $0,3 < x < 0,5$.

Preferentemente, los sustratos de las realizaciones de la invención son herramientas de corte sin recubrir o recubiertas, como plaquitas de herramientas de corte, herramientas redondas tales como taladros, fresas terminales, machos, etc., y está hecho de cualquier material conocido que se va a usar en estas aplicaciones tales como carburo cementado, cermet, cerámicos, nitruro de boro cúbico, diamante policristalino o aceros de alta velocidad. Más preferentemente, el sustrato se hace de carburo cementado, cermet o nitruro de boro cúbico, puesto que estos materiales tienen propiedades térmicas y mecánicas que son esenciales para beneficiarse completamente de las propiedades ventajosas de la capa de recubrimiento depositada sobre el sustrato de forma que la herramienta de corte recubierta obtenga excelente resistencia al desgaste y tenacidad.

Un sustrato de carburo cementado según una realización de la invención comprende preferentemente 5-13,5 % en peso de Co y el resto carburo de tungsteno (WC). Además, pueden estar presentes los elementos Ti, Ta, V, Cr, Nb.

Un sustrato de carburo cementado según una realización de la invención comprende preferentemente carburo de tungsteno (WC) con un tamaño de granos submicrométrico, 5-13,5 % en peso de Co, preferentemente 6-10 % en peso de Co, y Cr de forma que la relación ponderal de Cr/Co sea 0,04-0,15, y el resto WC. Además, niveles de ppm de los elementos Ti, Ta, o V. Preferentemente, la coercitividad, H_c , de este sustrato de granos finos varía desde 18-30 kA/m. Preferentemente, la dureza del sustrato, HV3, es desde 1500 hasta 2200 kgf/mm², más preferentemente 1800-2200 kgf/mm².

El estado de esfuerzo de la capa de compuesto y así el recubrimiento de la herramienta de corte recubierta según la invención se controla preferentemente por medio de los parámetros de deposición y chorreado como se explica a continuación. El chorreado tiene el efecto adicional de suavizar el recubrimiento como se depositó. El recubrimiento tiene un esfuerzo de compresión interno que varía desde más de 1,3 hasta 2 GPa como se ha determinado por análisis de difracción de rayos X. La rugosidad del área superficial del recubrimiento como se mide por interferometría óptica de luz blanca se puede definir por parámetros de textura superficial normalizados (ISO 25178). Preferentemente, el parámetro de textura superficial S_a , que define la altura media aritmética de la superficie, es inferior a 0,4 μm , preferentemente inferior a 0,3 μm . En una realización de la invención, la textura superficial se caracteriza además por que el parámetro de textura superficial S_{pd} , que define la densidad de picos, es inferior a $10 \times 10^3/\text{mm}^2$. En otra realización más de la invención, la textura superficial se caracteriza además por que el parámetro de textura superficial S_{dr} , que define la relación de área desarrollada, es inferior a 10 %, preferentemente

inferior a 6 %.

El esfuerzo interno, σ , del recubrimiento de las realizaciones de la invención se evalúa por mediciones de difracción de rayos X usando el bien conocido método de $\sin^2\psi$ como se describe por I.C. Noyan, J.B. Cohen, Residual Stress Measurement by Diffraction and Interpretation, Springer-Verlag, New York, 1987 (pp 117-130). Las mediciones se deben realizar usando la radiación de $\text{CuK}\alpha$ en la reflexión de $(\text{Ti,Al})\text{N}$ (200). Se recomienda usar la técnica de inclinación lateral (geometría ψ) con seis a once, preferentemente ocho, ángulos ψ , equidistantes dentro de un intervalo de $\sin^2\psi$ seleccionado. Se prefiere una distribución equidistante de ángulos Φ dentro de un sector Φ de 90° . Para confirmar un estado de esfuerzo biaxial, la muestra se debe girar para $\Phi=0^\circ$ y 90° mientras que se inclina en ψ . Se recomienda investigar la posible presencia de los esfuerzos de cizallamiento y, por tanto, se deben medir tanto ángulos ψ negativos como positivos. En el caso de una horquilla de Euler de $1/4$, esto se lleva a cabo midiendo la muestra también a $\Phi=180^\circ$ y 270° para los diferentes ángulos ψ . La medición se debe realizar como en una superficie tan plana como sea posible, preferentemente sobre un lado de flanco de una plaquita. Para los cálculos de los valores de esfuerzo residual se va a usar el coeficiente de Poisson $\nu=0,20$ y el módulo de Young $E=450$ GPa. Alternativamente, se puede determinar el módulo de Young, E, por ejemplo, por la técnica de nano-indentación. Preferentemente, los datos se evalúan usando software comercialmente disponible tal como DIFRAC^{Plus} Stress32 v. 1.04 de Bruker AXS que localiza preferentemente la reflexión de (200) por la función de ajuste de pseudo-Voigt. En caso de un estado de esfuerzo biaxial, el esfuerzo total se calcula como el promedio de los esfuerzos biaxiales obtenidos.

El recubrimiento tiene un esfuerzo de compresión que es superior a 1,3 GPa. Aumentando el esfuerzo de compresión, se puede mejorar la tenacidad.

El recubrimiento tiene un esfuerzo de compresión que es inferior a 2 GPa. Gracias a esta limitación de los esfuerzos de compresión en el recubrimiento y las propiedades ventajosas del proceso de deposición con arco catódico se pueden obtener una combinación de alta resistencia al desgaste y alta resistencia al descascarillado.

En una realización de la invención, se controla el esfuerzo interno del recubrimiento para beneficiar el efecto de los esfuerzos de compresión sin que sufra problemas de deslaminación debido al espesor del recubrimiento. Preferentemente, el espesor del recubrimiento es superior a 20 μm .

En una realización de la invención, la capa de compuesto del recubrimiento es una única capa de $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ con una composición promedio de $0,5 < x < 0,7$, teniendo el recubrimiento un esfuerzo de compresión que varía desde 1,3 GPa hasta 2 GPa. El recubrimiento tiene preferentemente una textura predominante de (200), es decir, la intensidad de (200) es significativamente superior a la intensidad de (111) como se mide por difracción de rayos X. Preferentemente, la rugosidad del área superficial es suave, es decir, S_a , es inferior a 0,4 μm , preferentemente inferior a 0,3 μm , S_{pd} , es inferior a $10 \times 10^3/\text{mm}^2$, y S_{dr} , es inferior a 10 %, preferentemente inferior a 6 %. Preferentemente, el sustrato está hecho de carburo cementado, más preferentemente un carburo cementado de granos finos. Esta realización da un buen resultado inesperado con respecto al desgaste de cráter, desgaste de flancos y descascarillado. En otra realización, la capa de compuesto es una única capa de $\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$ con una composición promedio de $0,3 < x < 0,5$, por lo demás las mismas propiedades que la realización previa.

En una realización, la capa de compuesto comprende un gradiente con respecto al esfuerzo interno dentro del recubrimiento. Este gradiente se puede determinar controlando las condiciones de deposición y/o el chorreado post-tratamiento. A modo de ejemplo, la tensión de polarización se puede variar durante la deposición para realizar un gradiente de esfuerzo interno, a modo de ejemplo aumentando linealmente la tensión de polarización que da un cambio sustancialmente lineal en el esfuerzo interno hacia mayor esfuerzo de compresión hacia la superficie externa de la capa de compuesto o la tensión de polarización se puede aumentar exponencialmente dando un aumento empinado del esfuerzo interno hacia mayor esfuerzo de compresión en la parte más externa de la capa de compuesto mientras que el esfuerzo de compresión en la parte interna de la capa de compuesto es bajo o incluso elástico.

La capa de compuesto puede ser la capa más interna, la más próxima al sustrato. También puede ser la capa más externa del recubrimiento. El recubrimiento puede comprender más capas que dicha al menos una capa de compuesto, tal como una o más capas intermedias entre el sustrato y la capa de compuesto o la capa más externa depositada sobre la capa de compuesto.

Gracias a la invención es posible proporcionar una plaquita de herramienta de corte recubierta por PVD que supera las herramientas de corte recubiertas por PVD convencionales con respecto al desgaste de cráter, desgaste de flancos sin que padezca descascarillado y que tenga una resistencia al desgaste de cráter comparable a una herramienta de corte recubierta por CVD del estado de la técnica.

Un método de deposición con arco catódico dentro de una cámara de vacío de un recubrimiento que comprende al menos una capa de compuesto sobre un sustrato según la invención comprende generar un plasma de una descarga de arco visible como uno o más puntos de arco sobre una superficie de una diana en forma de placa aplicando una corriente de arco de al menos 200 A entre la diana en forma de placa, que actúa de cátodo, y una

disposición de ánodo de forma que los iones de la descarga de arco se emitan fuera de la diana en forma de placa para contribuir en la formación del recubrimiento del sustrato.

Se ha encontrado que una densidad de corriente iónica en la superficie del sustrato a recubrir es de significativa importancia para las propiedades de recubrimiento. Una medida de la densidad de corriente iónica es la corriente iónica total producida por una o más dianas en forma de placa. La corriente iónica total se puede estimar midiendo la densidad de corriente iónica con una superficie de sonda negativamente polarizada con respecto a un potencial de tensión de la disposición de ánodo y que se orienta a la diana en forma de placa a una distancia de aproximadamente 15 cm desde la superficie de la diana y multiplicando la densidad de corriente iónica medida con el área superficial total de la diana en forma de placa. Preferentemente, la corriente iónica total es al menos 5 A.

Se ha encontrado que no se logra fácilmente corriente iónica total suficientemente alta usando una diana pequeña puesto que la densidad de potencia del arco llega a ser normalmente demasiado alta como para ser capaz de controlar eficientemente la evaporación de material diana y, por tanto, un número inaceptable de gotitas sería emitido de la superficie diana, que es perjudicial para la calidad del recubrimiento. Usando un área superficial diana comparativamente grande, se pueden mantener la densidad de corriente y la carga térmica local en la diana a niveles moderados, mientras que se proporciona la alta corriente iónica total.

El área superficial de la diana en forma de placa es preferentemente mayor que 500 cm², más preferentemente mayor que 1000 cm². Así, es posible la ramificación de la descarga de arco en una multitud de puntos de arco distribuidos sobre sustancialmente toda el área superficial de la diana. La ramificación se promueve por la alta corriente de arco. Una ventaja de la ramificación es que da una densidad de corriente iónica comparativamente uniforme en el plasma sobre toda el área superficial de la diana. Esto se puede observar como una iluminación sustancialmente uniforme de la superficie diana durante la deposición. Otra ventaja de la ramificación es que permite la utilización mejorada de la diana. Otra ventaja más es que es posible obtener condiciones de deposición uniformes en toda la cámara de vacío y, por tanto, espesor de recubrimiento y propiedades uniformes dentro de un lote de sustratos a recubrir.

Preferentemente, la densidad de corriente iónica medida, que se mide en las condiciones de saturación de la corriente, es mayor que 6 mA/cm², más preferentemente mayor que 10 mA/cm², e incluso más preferentemente entre 6 mA/cm² y 16 mA/cm² para obtener la alta corriente iónica total y para conseguir un alto flujo iónico en los sustratos. Se pueden proporcionar dianas en forma de placa adicionales, por ejemplo para aumentar más la corriente iónica suministrada al plasma formado, o para proporcionar dianas en forma de placa con diferente composición.

La descarga de arco suministra iones al plasma. Una medida de la cantidad de iones que se suministran al plasma es la corriente iónica total de la diana en forma de placa como se ha definido anteriormente. Con una pluralidad de dianas en forma de placa el suministro de iones se puede determinar condensando la corriente iónica total de cada una de la diana en forma de placa. Preferentemente, la suma de las corrientes iónicas totales de una diana respectiva en forma de placa dividida entre el volumen de la cámara de vacío es al menos 3 A/m³.

El método comprende aplicar una diferencia de potencial de tensión entre el sustrato y la diana en forma de placa, es decir, una tensión de polarización V_s al sustrato que es negativa con respecto al potencial de tensión V_A de la disposición de ánodo y una tensión de cátodo V_c que es negativa con respecto al potencial de tensión V_A de la disposición de ánodo. Como se ha mencionado anteriormente, esto se conoce por tener un efecto sobre el estado de esfuerzo del recubrimiento, y comúnmente se usan altos niveles de tensión de polarización para obtener altos esfuerzos de compresión. Sin embargo, se ha encontrado que los objetivos de la presente invención se pueden llevar a cabo si el sustrato se polariza a un nivel de polarización comparativamente bajo. Preferentemente, las diferencias de tensión son $V_s - V_A > -30$ V, -20 V $< V_c - V_A < 0$ V, y -10 V $< V_s - V_c \leq 10$ V. En un ejemplo del método, $V_s - V_c \leq 0$ V. En otro ejemplo -19 V $\leq V_c - V_A \leq -15$ V, preferentemente -18 V $\leq V_c - V_A \leq -16$ V. En otro ejemplo más -30 V $\leq V_s - V_A \leq -15$ V, preferentemente -25 V $\leq V_s - V_A \leq -15$ V. Con el fin de la presente solicitud, la tensión de polarización V_s pretende ser una tensión pico.

Los iones que impactan sobre el sustrato tendrán, debido a la polarización de tensión comparativamente baja del sustrato, una energía cinética moderada, en contra del esfuerzo prevalente anteriormente mencionado para aumentar la energía cinética de los iones para aumentar la movilidad iónica y así mejorar las propiedades mecánicas. Sin embargo, debido a la alta densidad de corriente iónica se proporciona un alto flujo iónico en la superficie del sustrato de forma que la energía total transferida de los iones que llegan a la superficie del sustrato sea todavía alta, potenciando así la movilidad iónica en la superficie, mejorando las propiedades mecánicas sin introducir altos niveles de esfuerzo perjudiciales y/o defectos en el recubrimiento. Así, el estado de esfuerzo en el recubrimiento puede ser eficientemente controlado.

Aumentando la corriente de arco, aumenta la corriente iónica total y aumenta la tasa de deposición. El aumento de la corriente también promueve la ramificación de la descarga de arco. Preferentemente, la corriente de arco que genera el plasma de arco es al menos 400 A por diana en forma de placa, preferentemente al menos 800 A, más preferentemente 400-1200 A.

Normalmente, en los sistemas de deposición con arco catódico del estado de la técnica, las paredes de la cámara de la cámara de vacío actúan de ánodo para todas las dianas. Un sistema de deposición para depositar un recubrimiento según la invención comprende preferentemente una disposición de ánodo que comprende un miembro de ánodo con una superficie de ánodo dirigida hacia la diana en forma de placa y dispuesta concéntricamente con cada diana en forma de placa y que se extiende lateralmente a lo largo de un borde la misma. La gran superficie de ánodo se proporciona próxima a la diana y el área superficial del ánodo es bastante constante a lo largo de toda la longitud de la diana en forma de placa para proporcionar condiciones de plasma uniformes a lo largo de toda la longitud, independientemente de las condiciones en cualquier parte en la cámara de vacío. El miembro de ánodo se interrumpe preferentemente sustancialmente en una sección del borde que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la anchura de la diana sobre cada lado de la diana en forma de placa en las porciones terminales de la misma para adaptar la forma y el tamaño de la superficie de ánodo de forma que las condiciones de plasma sean uniformes también en las porciones terminales. El miembro de ánodo puede comprender además una superficie de ánodo que se estrecha hacia el exterior a medida que el miembro de ánodo se aleja de la diana en forma de placa en su dirección normal.

El miembro de ánodo de la presente invención puede servir además para contribuir a un campo electromagnético equilibrado sobre toda la diana en forma de placa. Este campo electromagnético total se influye además por un auto-campo magnético que se origina a partir de la corriente de arco, un campo magnético que se origina a partir de los medios para generar un campo magnético y un campo magnético que se origina a partir del cruce de corriente de la diana en forma de placa. Una ventaja del campo electromagnético equilibrado es que la erosión de las dianas en forma de placa se vuelve uniforme y mejora la utilización de la diana en comparación con los sistemas de deposición convencionales, en particular para altas corrientes de arco superiores a 200 A.

El sistema de deposición puede comprender además medios para generar un campo magnético lateral sobre la superficie diana. Este campo magnético lateral se puede usar para conducir el desplazamiento del (de los) punto(s) de arco del plasma de arco. Preferentemente, el campo magnético que se origina a partir de los medios para generar un campo magnético es moderado, preferentemente inferior a 100 Gauss, más preferentemente 5-40 Gauss. Esto da como resultado una débil conducción de la descarga de arco, es decir, ramificaciones de la descarga de arco, alrededor de la diana en forma de placa.

La impedancia, que se determina midiendo la tensión promedio y la corriente de arco sobre la disposición de ánodo y la diana en forma de placa, se controla preferentemente para estar dentro de un intervalo predeterminado, preferentemente inferior a 0,1 Ohm, más preferentemente inferior a 0,05 Ohm, durante la deposición. Esto se lleva a cabo al menos parcialmente usando un campo magnético lateral comparativamente débil para conducir la descarga de arco, contrario a las técnicas de arco conducido donde se usa un fuerte campo magnético. Estas técnicas de arco conducido son formas convencionales de aumentar ligeramente la corriente de arco, sin embargo no fácilmente por encima de 200 A, sin alterar las propiedades de recubrimiento por la elevada formación de gotitas. Asimismo, con la configuración de ánodo-cátodo descrita anteriormente y el enfoque de baja impedancia, la corriente de arco se puede aumentar dando multiramificaciones eficaces de la descarga de arco y un plasma denso que da una alta tasa de deposición y sin alterar las propiedades de recubrimiento. Sin embargo, se debe apreciar que la impedancia no solo se determina por el campo magnético aplicado, sino también por otros parámetros tales como la colocación del ánodo, diseño del ánodo, presión del gas, diseño del cátodo, etc. Por tanto, se deben considerar todos los parámetros cuando se limita la impedancia.

La conducción magnética débil y el campo eléctrico bien definido entre el ánodo y el cátodo mejoran la utilización de dianas puesto que previene problemas asociados al arco al azar y las técnicas de arco conducido convencionales. Por ejemplo, en comparación con esta última, se previene el típico circuito en la diana debido a la distribución uniforme de puntos de arco y la eficiente ramificación del arco sobre la superficie diana.

Combinando la conducción magnética débil con el miembro de ánodo que tiene una superficie de ánodo grande próxima a la diana y que proporciona condiciones de plasma uniformes con respecto al campo magnético y la disposición geométrica de la superficie de cátodo y la superficie de ánodo alrededor de la diana, y en particular en las porciones terminales de la diana en forma de placa, se pueden mantener constante la densidad de corriente de ánodo alrededor de la diana, que permite mayores corrientes y erosión uniforme alrededor de la diana.

Equilibrando el campo magnético con respecto al auto-campo magnético que se origina a partir de la corriente de arco, el campo magnético que se origina a partir de medios para generar un campo magnético y un campo magnético que se origina a partir de cruce de corrientes de la diana sobre toda la superficie de la diana en forma de placa, es más uniforme la erosión de la diana en forma de placa transversalmente a una pista alrededor de la diana en forma de placa. Por tanto, es posible mejorar la utilización de la diana.

El método puede comprender además cambiar la polarización de tensión gradualmente durante la deposición para controlar el esfuerzo interno de la capa de compuesto. Preferentemente, la polarización de tensión aumenta durante la deposición. La polarización de tensión se puede aumentar linealmente, o progresivamente, por ejemplo exponencialmente.

Preferentemente, la deposición se realiza hasta que se haya formado un recubrimiento grueso, al menos 15 μm , preferentemente al menos 20 μm . Como aprecia un experto en la técnica, se puede variar el proceso de deposición para realizar recubrimientos de una única capa o multicapa. Se pueden llevar a cabo estructuras multicapa por los métodos conocidos en la técnica, a modo de ejemplo las dianas de diferente composición y girando los sustratos a recubrir enfrente de las dianas.

El método puede comprender además diferentes etapas pre-tratamiento o post-tratamiento.

Un ejemplo es un pre-tratamiento que comprende someter el sustrato a chorreado, preferentemente una operación de chorreado de dos etapas que incluye una primera etapa de chorreado en seco para proporcionar un borde que rodea el sustrato, seguido por una segunda etapa de chorreado en húmedo para retirar residuos de la etapa de chorreado en seco. Sin embargo, el chorreado también se puede realizar con cualquiera de chorreado en seco o chorreado en húmedo. Se pueden variar los parámetros para el chorreado pre-tratamiento y se conocen bien por un experto en la técnica.

En otro ejemplo, el recubrimiento formado por una o más de las etapas anteriormente descritas se somete a un post-tratamiento que comprende chorreado, alternativamente granallado de compresión, o similares. En un aspecto, el chorreado puede proporcionar una superficie más lisa. En otro aspecto, el chorreado puede cambiar el estado de esfuerzo en el recubrimiento, por ejemplo aumentando los esfuerzos de compresión en el recubrimiento. Ambos aspectos pueden contribuir a un rendimiento mejorado de la herramienta de corte recubierta formada por deposición según la realización de la invención, en particular para recubrimientos gruesos. Debido a una combinación que controla el estado de esfuerzo usando los parámetros de deposición, tales como la presión, la densidad de corriente iónica y la polarización, y el chorreado post-tratamiento, se pueden mejorar el control del estado de esfuerzo del recubrimiento, que da un buen rendimiento inesperado de la herramienta de corte recubierta.

Preferentemente, el recubrimiento se somete a chorreado en húmedo usando una boquilla dispuesta a una distancia de aproximadamente 20-300 mm, preferentemente 40-200 mm, y un ángulo de aproximadamente 0-90°, preferentemente 35-65°, con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de 100-800 de malla, preferentemente 300-500 de malla, a una presión de aproximadamente 0,1-0,6 MPa. La duración del chorreado en húmedo del recubrimiento es preferentemente aproximadamente 0,5-1 minutos. Las partículas adecuadas que se van a usar incluyen, pero no se limitan a, alúmina, carburo de silicio y circonia.

En el chorreado, un medio de chorreado, tal como partículas, impacta sobre el sustrato con alta velocidad, normalmente en un modo abrasivo. Como se ha mencionado anteriormente, el chorreado se puede realizar tanto en condiciones secas, es decir, con las partículas o similares como un polvo, como en condiciones húmedas, es decir, con las partículas o similares suspendidas en un fluido. Dependiendo de las condiciones de chorreado, con respecto al medio de chorreado, presión, ángulo y duración, variará el efecto de chorreado. El proceso de chorreado se puede ajustar, por ejemplo, para suavizar o rugosificar la superficie del sustrato. Como se ha mencionado anteriormente, el chorreado también puede cambiar el estado de esfuerzo del recubrimiento como se deposita. Como aprecia un experto en la técnica, este cambio se puede adaptar, por ejemplo, seleccionando el medio de chorreado particular, la duración, ángulo, presión, etc.

Como aprecia un experto en la técnica, el proceso de deposición puede comprender diferentes etapas de ataque con plasma, antes, durante o posterior a la deposición de la capa de compuesto o capas individuales del mismo.

Otros objetos, ventajas y características novedosas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención cuando se consideran conjuntamente con los dibujos y reivindicaciones adjuntos.

Breve descripción de los dibujos

Las realizaciones de la invención se describirán ahora con referencia a los dibujos adjuntos, en donde:

La FIG. 1 es una ilustración esquemática de un sistema de deposición para la fabricación de un recubrimiento según la invención,

la FIG. 2 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de un herramienta de corte recubierta de (Ti,Al)N según una realización de la invención (Ejemplo 1) después del torneado en acero,

la FIG. 3 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de una herramienta de corte recubierta de (Ti,Al)N (Ejemplo 3) después del torneado en acero,

la FIG. 4 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de una herramienta de corte recubierta de (Ti,Al)N según una realización de la invención (Ejemplo 7) después del torneado en acero,

la FIG. 5 es una imagen de microscopio electrónico de barrido de una herramienta de corte recubierta de (Ti,Al)N

según estado de la técnica (Ejemplo 9) después del torneado en acero,

la FIG. 6a es una fotografía de la sonda de plasma usada para medir la densidad de corriente iónica,

- 5 la FIG. 6b ilustra la corriente iónica total enfrente de las dianas en forma de placa de una realización de la invención y del estado de la técnica determinada a partir de mediciones de sonda de plasma.

Descripción detallada

- 10 La FIG. 1a ilustra esquemáticamente un ejemplo de sistema de deposición para la deposición de arco catódico de un recubrimiento según la invención. La Fig. 1b muestra la vista frontal y vista desde arriba de una diana en forma de placa 1 y un miembro de ánodo. La fabricación del recubrimiento se describe en el presente documento con referencia a este ejemplo no limitante, sin embargo, como aprecia un experto en la técnica, el sistema de deposición se puede modificar en diferentes formas. Como en otros sistemas de deposiciones PVD, la deposición del recubrimiento se realiza dentro de una cámara de vacío 3 acoplada a las bombas de vacío (no mostradas) para controlar la presión dentro de la cámara de vacío 3. Se proporcionan una o más dianas en forma de placa 1 que actúan como fuentes de material de recubrimiento en el proceso de deposición en o sobre las paredes de la cámara de vacío 3 con sus dianas superficiales orientadas hacia el interior de la cámara de vacío 3. Las dianas en forma de placa 1 y una disposición de ánodo, que incluye preferentemente el miembro de ánodo 2, están conectadas a una fuente de alimentación del arco (no mostrada) y forman el cátodo y el ánodo del sistema de deposición, respectivamente. Se usan una descarga de arco para evaporar el material diana. La descarga de arco se activa por un activador (no mostrado). Un sustrato 5 a recubrir es preferentemente transportado por un montaje 6 en la cámara de vacío 3 en el campo visual de las dianas en forma de placa 1. Para recubrir uniformemente todos los lados del sustrato 5, el montaje puede ser giratorio. Los sustratos 5 se pueden conectar mediante el montaje 6 a una fuente de alimentación de tensión de polarización. La deposición se puede realizar en una atmósfera reactiva de forma que el material de diana evaporado y un gas reactivo suministrado a través de una entrada de gas en la cámara de vacío 3 reaccionen para formar un recubrimiento de compuesto.

- La tensión de polarización se puede proporcionar por una fuente de alimentación de tensión de polarización. La tensión de polarización puede ser una tensión de CC o una tensión pulsada. En un sistema de deposición adaptado para una tensión de polarización pulsada, la fuente de alimentación de tensión de polarización comprende una unidad generadora de impulsos. La fuente de alimentación de la tensión de polarización se conecta preferentemente a una unidad de control que monitoriza la salida de tensión de polarización de la fuente de alimentación de la tensión de polarización durante la deposición y ajuste de la fuente de alimentación para obtener el nivel de tensión de polarización deseado.

- Preferentemente, la corriente de arco es una corriente continua suministrada por una fuente de alimentación conectada al sistema de deposición. La corriente continua no es necesariamente constante con el tiempo. Aunque la corriente de arco puede mostrar variación considerable durante la deposición debido a la contribución individual de las descargas de arco breves, esta corriente continua no se debe mezclar con técnicas de deposición pulsada. La deposición pulsada se pueden usar por los mismos motivos que en los procesos de deposición del estado de la técnica.

- Para realizar el control de impedancia, el sistema de deposición puede comprender una unidad de control y una unidad de monitorización de la impedancia, dispuestas de forma que la unidad de control basada en la medición de la impedancia entre el ánodo y la diana en forma de placa por la unidad de control de la impedancia ajuste la magnitud del campo magnético lateral generado por medios para generar un campo magnético lateral para mantener la impedancia dentro de un intervalo predeterminado. La unidad de control puede ser automática o manualmente controlada.

- El equilibrio del auto-campo magnético que se origina a partir de corriente de arco, campo magnético que se origina a partir de medios para generar un campo magnético y un campo magnético que se origina a partir de cruce de corrientes de la diana se realiza preferentemente por un proceso empírico iterativo que tiene como objetivo realizar una distribución uniforme de los puntos de arco sobre toda la superficie de la diana en forma de placa.

- El equilibrio de los campos magnéticos no uniformes que se origina del cruce de corrientes se puede llevar a cabo proporcionando una distribución asimétrica de imanes permanentes bajo la diana en forma de placa. A modo de ejemplo, una disposición de cátodo de un sistema de deposición puede comprender la diana en forma de placa dispuesta sobre una placa de respaldo conductora. La placa de respaldo puede comprender al menos dos barras de corriente que transcurren a lo largo de su longitud. Estas barras de corriente se conectan a la fuente de alimentación de arco en extremos opuestos de la diana en forma de placa y corriente. Por tanto, la corriente de arco entra en las barras de corriente desde extremos opuestos de la diana en forma de placa y se extiende mediante las barras de corriente y la placa de respaldo conductora a la diana en forma de placa. Con esta configuración, la densidad de corriente en cada barra de corriente es más alta próxima a la entrada de corriente a la barra de corriente y se agota hacia el extremo opuesto. Por consiguiente, el campo magnético que se origina a partir del cruce de corrientes a través de las barras de corriente también disminuye a lo largo de la barra de corriente. El

efecto de esto puede ser equilibrado usando imanes permanentes asimétricamente distribuidos dispuestos de forma que el campo magnético alrededor de la diana en forma de placa sea uniforme.

La FIG. 1a ilustra esquemáticamente una vista lateral del miembro de ánodo usado en los siguientes ejemplos. La FIG. 1b ilustra esquemáticamente la vista frontal y vista desde arriba del miembro de ánodo y la diana en forma de placa. El miembro de ánodo está sustancialmente interrumpido en una sección que se extiende al menos parcialmente a lo largo de la anchura de la diana en forma de placa en porciones extremas opuestas de la diana en forma de placa. Adicionalmente, el miembro de ánodo comprende una superficie de ánodo que se estrecha hacia el exterior a medida que el miembro de ánodo se aleja de la diana en forma de placa en su dirección normal.

A continuación, los Ejemplos 1, 5, 6 (antes del chorreado) y 7 desvelan realizaciones de la invención y los Ejemplos 8 - 10 desvelan muestras de referencia que representan el estado de la técnica, que en los Ejemplos 11 - 13 se comparan con respecto al desgaste de cráter, desgaste de flancos y descascarillado. Los Ejemplos 2 - 4 y se proporcionan para información. Se ha usado sustancialmente el mismo proceso de deposición para todas las muestras de los Ejemplos 1 - 7 y se describe en lo sucesivo.

Los recubrimientos de los Ejemplos 1 - 7 se depositaron sobre un sustrato usando un sistema de deposición de arco catódico que comprende una o más dianas en forma de placa comparativamente grandes como se ha descrito anteriormente. El sustrato 5 a recubrir es transportado por un montaje 6 en el campo visual de las dianas en forma de placa 1. Para recubrir uniformemente todos los lados del sustrato 5, el montaje es giratorio. Los sustratos 5 están conectados mediante el montaje 6 a una fuente de alimentación de tensión de polarización. La deposición se realiza en una atmósfera reactiva de forma que el material de diana evaporado y un gas reactivo suministrado a través de una entrada de gas en la cámara de vacío 3 reaccionan para formar un recubrimiento de compuesto.

Los sustratos usados en los ejemplos son todos plaquitas de CNMG120408 de tres composiciones diferentes, denominados en lo sucesivo los sustratos S1, S2 y S3, respectivamente. Estos sustratos se especifican en la Tabla 1.

Tabla 1

	S1	S2	S3
Co (% en peso)	6,0	7	10
Cr (% en peso)	0,4	0,7	0,4
Ti (% en peso)	0,06	0,01	
Ta (% en peso)		0,01	
V (% en peso)	0,1		
W (% en peso)	resto	resto	resto
He (kA/m)	27,6	27,8	20,5
HV3 (kgf/mm ²)	1970	1890	1600

El valor de coercitividad, He, se midió usando un Foerster Koerzimat CS1.096 según DIN IEC 60404-7.

Ejemplo 1

Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al)N sobre un sustrato S1 en una atmósfera de nitrógeno usando cinco dianas en forma de placa, comprendiendo cada diana en forma de placa 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al.

Antes de cargar el sustrato en el sistema de deposición, el sustrato se sometió a chorreado en seco para obtener un pulido hasta un radio de borde de 30-60 μm , seguido por chorreado en húmedo para limpiar el sustrato de residuos de la etapa de chorreado en seco. El chorreado en seco se realizó usando una boquilla con 10 mm de diámetro dispuesta a una distancia de aproximadamente 150 mm y un ángulo de aproximadamente 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 100 de malla a una presión de aproximadamente 0,4-0,6 MPa, es decir, impactando las partículas con un ángulo de 45° en el lado inclinado del sustrato. El chorreado en húmedo se realizó usando una boquilla con 9,5 mm de diámetro dispuesta a una distancia de aproximadamente 150 mm y un ángulo de aproximadamente 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 360 de malla a una presión de aproximadamente 0,4 MPa. La duración del chorreado en húmedo del sustrato fue aproximadamente 0,5-1 minutos.

El sustrato se dispuso horizontalmente, es decir, con sus caras de flanco orientadas a las dianas en forma de placa, sobre montajes que permiten rotación triple en el sistema de deposición. Antes de la deposición, el sustrato se atacó con plasma bombardeando los sustratos con iones Cr en el sistema de deposición.

El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 5 Pa, corriente de arco 400 A, tensión de polarización 35,5 V (CC) y tensión de cátodo 17,5 V.

Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a chorreado en húmedo usando una boquilla con 9,5 mm de

diámetro dispuesta a una distancia de aproximadamente 150 mm y un ángulo de aproximadamente 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 360 de malla a una presión de aproximadamente 0,4 MPa. La duración del chorreado en húmedo del recubrimiento fue aproximadamente 0,5-1 minutos.

- 5 El espesor del recubrimiento fue 22 μm sobre el lado de flanco y 16 μm sobre el lado inclinado. La dureza fue 31 GPa. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue -1430 MPa.

Ejemplo 2

- 10 Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al)N sobre un sustrato S2 en una atmósfera de nitrógeno usando cinco dianas en forma de placa, comprendiendo cada diana en forma de placa 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al.

- 15 Antes de la deposición, el sustrato se sometió a pretratamiento, se dispuso horizontalmente y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 5 Pa, corriente de arco 400 A, tensión de polarización 35,5 V (CC) y tensión de cátodo 17,5 V. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a post-tratamiento según el Ejemplo 1.

- 20 El espesor del recubrimiento fue 14 μm sobre el lado de flanco y 8 μm sobre el lado inclinado. La dureza fue 31 GPa. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue -1950 MPa. Se midió la rugosidad del área superficial de la herramienta de corte recubierta sobre el lado inclinado usando un interferómetro de luz blanca (Wyko NT9100, Veeco Instruments Ltd). Se usó para el análisis un filtro gaussiano paso banda que rechaza longitudes de onda por encima de 0,08 mm. La altura media aritmética de la superficie, Sa, fue 0,27 μm , la relación de área desarrollada, Sdr, fue 5,2%, y la densidad de picos, Spd, fue $6,1 \times 10^3 \text{ 1/mm}^2$.

- 25 Para comparación, una herramienta de corte recubierta producida en el mismo proceso y con el mismo sustrato que la herramienta de corte recubierta de este Ejemplo 2, excepto por ser post-tratada por chorreado, se evaluó con respecto a la rugosidad del área superficial. La altura media aritmética de la superficie, Sa, fue 0,36 μm , la relación de área desarrollada, Sdr, fue 24,6 %, y la densidad de picos, Spd, fue $20,9 \times 10^3 \text{ 1/mm}^2$.

- 30 Ejemplo 3

Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al)N sobre un sustrato S1 en una atmósfera de nitrógeno usando una diana en forma de placa que comprende 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al.

- 35 Antes de la deposición, el sustrato se dispuso verticalmente, es decir, con la cara inclinada orientada hacia la diana en forma de placa, y a partir de aquí se sometió a pretratamiento y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 2,5 Pa, corriente de arco 400 A, tensión de polarización 19 V (CC) y tensión de cátodo 17,5 V. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a chorreado en húmedo usando una boquilla con diámetro 12,5 mm
- 40 dispuesta a una distancia de 50 mm y un ángulo de aproximadamente 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 500 de malla a una presión de aproximadamente 0,4 MPa durante aproximadamente 0,5 minutos.

- 45 El espesor del recubrimiento fue 21 μm sobre el lado de flanco y 24 μm sobre el lado inclinado. La dureza fue 27 GPa. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue +90 MPa.

Ejemplo 4

- 50 Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al,Cr)N multicapa sobre un sustrato S1 en una atmósfera de nitrógeno usando cinco dianas en forma de placa, comprendiendo cada una de dichas cinco dianas en forma de placa 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al, transcurriendo simultáneamente con una diana en forma de placa que comprende 100 % de átomos de Cr .

- 55 Antes de la deposición, el sustrato se sometió a pre-tratamiento, se dispuso horizontalmente y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 2,5 Pa, corriente de arco para la diana de (Ti,Al) 400 A, corriente de arco para la diana de Cr 100 A, tensión de polarización 19 V (CC) y tensión de cátodo 17,5 V. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a post-tratamiento según el Ejemplo 1.

- 60 El espesor del recubrimiento fue 16 μm sobre el lado de flanco y 11 μm sobre el lado inclinado. La dureza fue 31 GPa. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue -1340 MPa.

Ejemplo 5

- 65 Se depositó un recubrimiento de TiAlN sobre un sustrato S3 en una atmósfera de nitrógeno usando tres dianas en forma de placa, comprendiendo cada una de dichas tres dianas en forma de placa 60 % de átomos de Ti y 40 % de

átomos de Al.

Antes de cargar el sustrato en el sistema de deposición, el sustrato se sometió a chorreado en seco para obtener un pulido hasta un radio de borde de 30-60 μm , seguido por chorreado en húmedo para limpiar el sustrato de residuos de la etapa de chorreado en seco. El chorreado en seco se realizó usando una boquilla con 10 mm de diámetro dispuesta a una distancia de 150 mm y un ángulo de 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 100 de malla a una presión de aproximadamente 0,4-0,6 MPa. El chorreado en húmedo se realizó usando una boquilla con 12,5 mm de diámetro dispuesta a una distancia de 50 mm y un ángulo de aproximadamente 45° con respecto al lado inclinado del sustrato y partículas de alúmina de 500 de malla a una presión de aproximadamente 0,4 MPa durante aproximadamente 0,5 minutos.

Antes de la deposición, el sustrato se dispuso horizontalmente y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 3,5 Pa, corriente de arco 400 A, tensión de polarización 20,5 V (polarización pulsada, 80 % de ciclo de trabajo) y tensión de cátodo 17,5 V. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a post-tratamiento según el Ejemplo 3.

El espesor del recubrimiento fue 23 μm sobre el lado de flanco y 15 μm sobre el lado inclinado. El esfuerzo interno fue +900 MPa después de la deposición, antes del chorreado. El esfuerzo interno después del chorreado del recubrimiento fue -1585 MPa. La dureza del recubrimiento fue 26 GPa.

Ejemplo 6

Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al)N sobre un sustrato S1 en una atmósfera de nitrógeno usando tres dianas en forma de placa, comprendiendo cada una de dichas dianas en forma de placa 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al.

Antes de la deposición, el sustrato se sometió a pre-tratamiento, se dispuso horizontalmente y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 5,0 Pa, corriente de arco 400 A y tensión de cátodo 17,5 V. Durante la deposición, la tensión de polarización aumentó linealmente desde 20,5 V, al principio de la deposición, hasta 36,5 V al final de la deposición. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a post-tratamiento según el Ejemplo 1.

El espesor del recubrimiento fue 19 μm sobre el lado de flanco y 13 μm sobre el lado inclinado. El esfuerzo interno fue -1700 MPa después de la deposición, antes del chorreado. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue -2580 MPa. Debido a este alto nivel de esfuerzo, el recubrimiento formado por los parámetros de proceso anteriores se puede descascarillar espontáneamente a lo largo del borde de corte. Esto no se ha observado para los otros ejemplos de realizaciones de la invención, puesto que el nivel de esfuerzo global es más bajo para sus recubrimientos. Sin embargo, se puede proporcionar un alto nivel de esfuerzo en la parte más externa del recubrimiento si el nivel de esfuerzo en la parte interna del recubrimiento es comparativamente bajo, véase el Ejemplo 7. El nivel de máximo esfuerzo también depende del espesor del recubrimiento.

Ejemplo 7

Se depositó un recubrimiento de (Ti,Al)N sobre un sustrato S1 en una atmósfera de nitrógeno usando una diana en forma de placa, comprendiendo cada una de dichas dianas en forma de placa 40 % de átomos de Ti y 60 % de átomos de Al.

Antes de la deposición, el sustrato se sometió a pre-tratamiento, se dispuso horizontalmente y se atacó con plasma según el Ejemplo 1. El recubrimiento se depositó usando las siguientes condiciones de deposición: temperatura 450 °C, presión de nitrógeno 5,0 Pa, corriente de arco 400 A y tensión de cátodo 17,5 V. Durante la deposición, la tensión de polarización aumentó exponencialmente desde 20,5 V, al principio de la deposición, hasta 36,5 V al final de la deposición. Después de la deposición, el recubrimiento se sometió a post-tratamiento según el Ejemplo 1.

El espesor del recubrimiento fue 18 μm sobre el lado de flanco y 12 μm sobre el lado inclinado. El esfuerzo interno fue -965 MPa después de la deposición, antes del chorreado en húmedo del recubrimiento. El esfuerzo interno después del chorreado en húmedo del recubrimiento fue -1800MPa.

Ejemplo 8

Se depositó una única capa de (Ti,Al)N sobre un sustrato S2 por deposición con arco catódico en un sistema de recubrimiento Balzers Rapid en una atmósfera de nitrógeno usando dianas con la composición $\text{Ti}_{0.33}\text{Al}_{0.67}$. El espesor del recubrimiento fue 3 μm .

Ejemplo 9

Se depositó un recubrimiento multicapa de TiAlN con un estructura multicapa de TiN/(Ti,Al)N alternada repetidamente con una única capa de (Ti,Al)N sobre un sustrato S2 usando deposición de arco catódico en un sistema de recubrimiento Balzers Rapid en una atmósfera de nitrógeno. Se depositó la estructura multicapa de TiN/(Ti,Al)N usando dianas de Ti y $Ti_{0,5}Al_{0,5}$ y se depositó la única capa de (Ti,Al)N usando dianas de $Ti_{0,5}Al_{0,5}$. El espesor de recubrimiento fue 4 μm .

Ejemplo 10

Se usó para comparación una herramienta de corte recubierta por CVD comercial del estado de la técnica para aplicaciones de torneado con un sustrato de carburo cementado y un recubrimiento de MT-TiCN+ α -Al₂O₃TiN.

Ejemplo 11

Se probaron plaquitas de los Ejemplos 1 - 10 con respecto al desgaste de cráter por torneado en acero para rodamientos (Ovako 825B, Tibnor). El resultado se presenta en la Tabla 2. El criterio de vida de la herramienta fue el desgaste de cráter que superaba 0,5 mm².

Tabla 2

Ejemplo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vida de la herramienta (min)	20	14	n.a.	10	22	n.a.	n.a.	2	10	>30

Ejemplo 12

Se probaron plaquitas de los Ejemplos 1, 2, 4, 5 y 8 - 10 con respecto al desgaste de flancos por torneado longitudinal en acero para herramienta (Sverker 21, Uddeholm). El resultado se presenta en la Tabla 3. El criterio de vida de la herramienta fue el desgaste de flancos que superaba 0,2 mm.

Tabla 3

Ejemplo	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Vida de la herramienta (min)	26	28	n.a.	18	12	n.a.	n.a.	16	8	12

Ejemplo 13

Se probaron plaquitas de los Ejemplos 1, 3, 4 y 9 con respecto al descascarillado por torneado en acero inoxidable austenítico (304L, Sandvik).

El grado de descascarillado se determinó cualitativamente usando un microscopio electrónico de barrido (SEM). La FIG. 2, FIG. 3, FIG. 4 y FIG. 5 son imágenes de SEM de las plaquitas del Ejemplo 1, Ejemplo 3, Ejemplo 7 y Ejemplo 9, respectivamente. Las plaquitas del Ejemplo 1 y 7 según las realizaciones de la invención no muestran ningún descascarillado hasta el sustrato. Las plaquitas del Ejemplo 9 según estado de la técnica muestran un grave descascarillado a lo largo del borde de corte, aunque tiene recubrimiento mucho más delgado que en el Ejemplo 1.

El rendimiento de una herramienta de corte recubierta según la invención con respecto al desgaste de cráter, desgaste de flancos y descascarillado mostrados en los ejemplos anteriores 11 - 13 aclara que el recubrimiento y la herramienta de corte recubierta según la presente invención tienen excelente tenacidad y resistencia al desgaste. En particular, la resistencia al descascarillado de dicho recubrimiento grueso es inesperadamente bueno.

Ejemplo 14

Para evaluar la corriente iónica total generada por una diana en forma de placa se usó una sonda de plasma para medir la densidad de corriente iónica enfrente de una diana en forma de placa. Como se muestra en la fotografía de la FIG. 5, la sonda de plasma 7 comprende un cilindro de acero inoxidable conectado en un extremo por un cable y truncado en el otro extremo por un elemento sensor interior con una superficie de sensor circular 8 con un diámetro de 1 cm y hecho de acero inoxidable. La superficie de sensor 8 está aislada del cilindro y, por tanto, recoge iones de una dirección solo. Un cable en el extremo opuesto del cilindro conecta el cable a un osciloscopio y una fuente de alimentación. Para realizar la medición, la sonda de plasma 7 se colocó enfrente de la diana en forma de placa orientándose la superficie de sensor 8 a la diana en forma de placa 1 a una distancia de aproximadamente 15 cm desde el centro de la superficie de la diana y la superficie de sensor 8 se polarizó a -70 V mediante el cable. A -70 V, la corriente iónica se considera que está saturada y no varía mucho con el cambio en la tensión de polarización. Se activó una descarga de arco y se midió la densidad de corriente iónica para diferentes corrientes de arco. Esta medición se realizó en un sistema de deposición convencional (sistema de recubrimiento Balzers Rapid) con una

diana en forma de placa de $Ti_{40}Al_{60}$ de $\varnothing$ 16 cm usando corrientes de arco de 80, 100, 120, 140, 160, 180 y 200 A, denominado en lo sucesivo el Ejemplo 14a, y en un sistema de deposición con una diana en forma de placa de $Ti_{40}Al_{60}$ de 74 x 19 cm² usando corrientes de arco de 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 A, denominado en lo sucesivo el Ejemplo 14b. Las mediciones se realizaron 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. 6 ilustra la corriente iónica total determinada multiplicando la densidad de corriente iónica medida con el tamaño de la diana. La corriente iónica del sistema de deposición usando dianas en forma de placa más grandes es significativamente más grande que 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 3,3 kA y para una corriente de arco del sistema de deposición es 8,7 kA.

Se midieron los espesores de los recubrimientos depositados por microscopía óptica de luz sobre secciones transversales pulidas. En general, el espesor del recubrimiento sobre el lado de flanco de la herramienta de corte recubierta es mayor que sobre el lado inclinado puesto que las plaquitas se han montado con el lado de flanco hacia las dianas en forma de placa. Por tanto, el espesor se midió 0,2 mm desde la línea de borde en cada uno del lado de flanco y el lado inclinado para reflejar esta diferencia. Para superficies irregulares, tales como aquellas en, por ejemplo, taladros y fresas terminales, los espesores dados en el presente documento se refieren al espesor medido sobre cualquier superficie razonablemente plana o una superficie que tiene una curvatura relativamente grande y cierta distancia alejada de cualquier borde o esquina. Por ejemplo, en un taladro, las mediciones se deben realizar en la periferia.

Además de la medición de la composición usando EDS o similares, la composición de cada capa individual se puede estimar a partir de la composición de las dianas. Cuando se han depositado capas más gruesas, lo suficientemente gruesas como para ser analizadas, se ha mostrado que la composición de las capas depositadas se puede diferenciar un pequeño porcentaje en comparación con la composición del material de diana. Por tanto, las composiciones de los recubrimientos no se dan en todos los ejemplos anteriores.

Se midieron los esfuerzos internos de los recubrimientos en el centro del lado de flanco de las herramientas de corte recubiertas, más específicamente por difracción de rayos X usando geometría ψ en un difractómetro de rayos X Bruker D8 Discover-GADDS equipado con posicionamiento por láser-vídeo, horquilla de Euler de $\frac{1}{4}$, rotación del ánodo como fuente de rayos X (radiación $CuK\alpha$) y un detector de área (Hi-star). Se usó un colimador de tamaño de 0,5 mm para enfocar el haz. El análisis se realizó en la reflexión de $TiAlN$ (200) usando los parámetros del goniómetro $2\theta=50^\circ$, $\omega=25^\circ$ y $\Phi=0^\circ$, 90° , 180° , 270° . Se realizaron ocho inclinaciones ψ que variaron desde 0° hasta 70° para cada ángulo Φ . Se usó el método de $\sin^2\psi$ para evaluar el esfuerzo interno usando el software DIFRAC^{Plus} Stress32 v. 1.04 de Bruker AXS con las constantes módulo de Young $E=450$ GPa y coeficiente de Poisson $\nu=0,20$ y localizando la reflexión usando la función de ajuste de pseudo-Voigt.

Se midió la dureza de los recubrimientos usando nano-indentación.

Términos como lateral, frontal, superior, enfrente de, longitud, anchura, horizontalmente, etc., se usan para fines ilustrativos solo y no pretenden limitar la invención a una orientación específica.

Aunque la invención se ha descrito a propósito de lo que actualmente se considera que son las realizaciones más prácticas y preferidas, se debe entender que la invención no se debe limitar a las realizaciones desveladas, por el contrario, pretende cubrir diversas modificaciones y disposiciones equivalentes dentro de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

- 5 1. Una herramienta de corte recubierta que comprende un sustrato y un recubrimiento, donde el recubrimiento comprende al menos una capa de compuesto de $Ti_{1-x}Al_xN$, en la que $0,5 < x < 0,7$ o $0,3 < x < 0,5$, que se deposita por deposición de arco catódico, y que tiene un espesor superior a $15\text{ }\mu\text{m}$ a $30\text{ }\mu\text{m}$, caracterizada por que el recubrimiento tiene esfuerzos de compresión internos en el intervalo de más de $1,3\text{ GPa}$ a 2 GPa como se ha determinado por análisis de difracción de rayos X usando el método de $\text{sen}^2\psi$.
- 10 2. La herramienta de corte recubierta de la reivindicación 1, en donde la capa de compuesto tiene un espesor de $20\text{--}30\text{ }\mu\text{m}$.
- 15 3. La herramienta de corte recubierta de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la rugosidad del área superficial del recubrimiento con respecto al parámetro de textura superficial S_{dr} , que define la relación de área desarrollada, es inferior a 10% , preferentemente inferior a 6% .
- 20 4. La herramienta de corte recubierta de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la rugosidad del área superficial del recubrimiento con respecto al parámetro de textura superficial S_{pd} , que define la densidad de picos, es inferior a $10 \times 10^3/\text{mm}^2$.
- 25 5. La herramienta de corte recubierta de cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde la rugosidad del área superficial del recubrimiento con respecto al parámetro de textura superficial S_a , que define la altura media aritmética de la superficie, es inferior a $0,4\text{ }\mu\text{m}$, preferentemente inferior a $0,3$.
- 30 6. La herramienta de corte recubierta de cualquiera de las capas precedentes, en donde la capa de compuesto es una única capa.
- 35 7. La herramienta de corte recubierta de cualquiera de las reivindicaciones 1-6, en donde la capa de compuesto es una estructura multicapa.
- 40 8. La herramienta de corte recubierta de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que se trata posteriormente por chorreado.
- 45 9. La herramienta de corte recubierta de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, que comprende un gradiente con respecto a dicho esfuerzo interno dentro del recubrimiento, con mayor esfuerzo de compresión hacia la superficie externa de dicha capa de compuesto.
10. La herramienta de corte recubierta de una cualquiera de las reivindicaciones precedentes, en donde dicho sustrato es un sustrato de carburo de tungsteno (WC) cementado con un tamaño de granos submicrométrico, $5\text{--}13,5\%$ en peso de Co, y Cr de forma que la relación ponderal de Cr/Co sea $0,04\text{--}0,15$, el resto WC y niveles en ppm de los elementos Ti, Ta, o V.
11. La herramienta de corte recubierta de la reivindicación 9, en donde la coercitividad H_c del sustrato varía desde $18\text{--}30\text{ kA/m}$.
12. La herramienta de corte recubierta de la reivindicación 9 o 10, en donde la dureza del sustrato HV3 es desde 1500 hasta 2200 kgf/mm^2 .

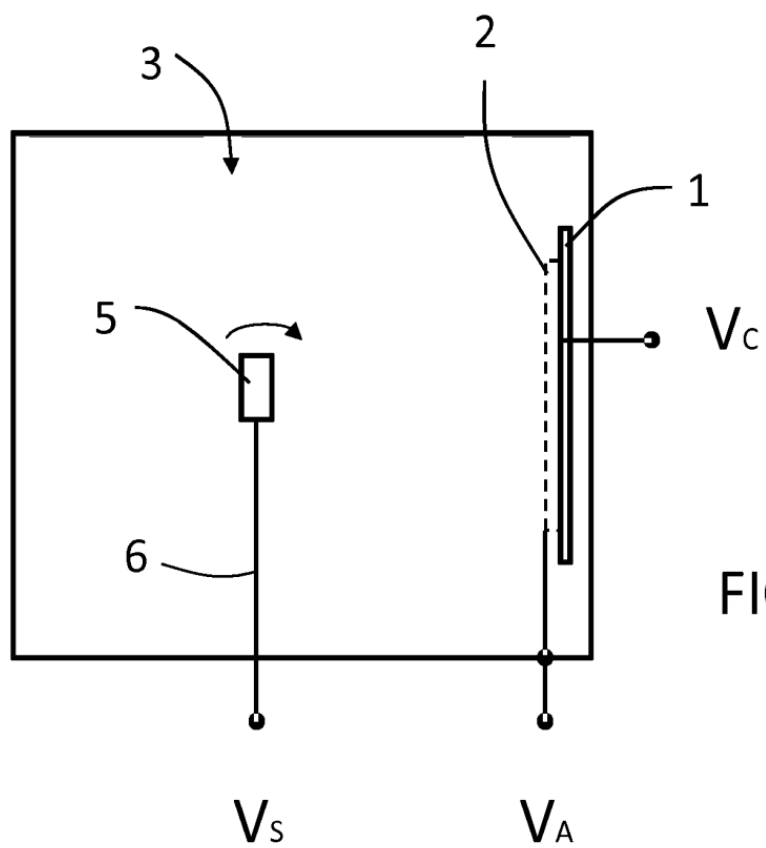


FIG. 1a

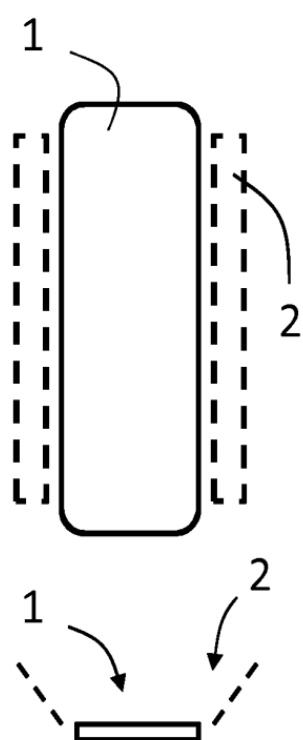


FIG. 1b

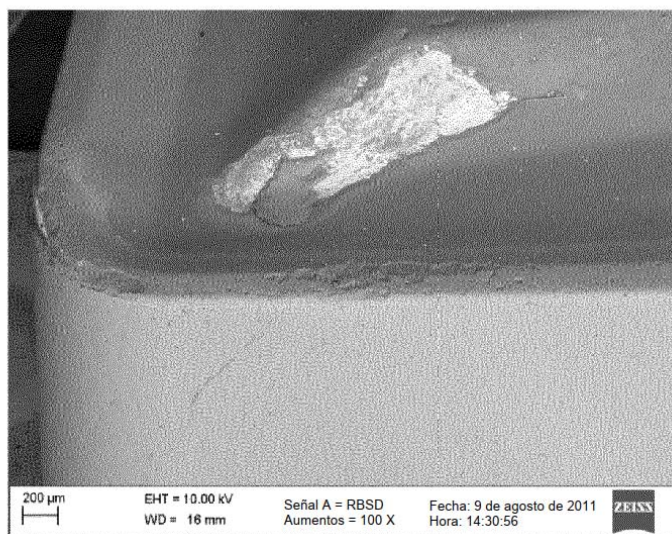


FIG. 2

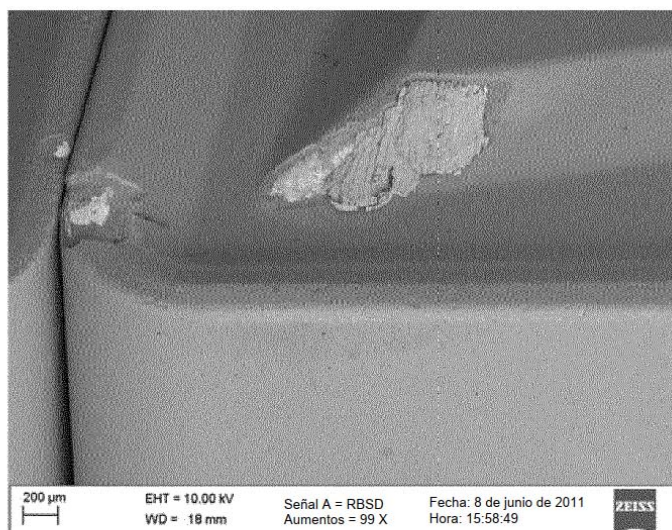


FIG. 3

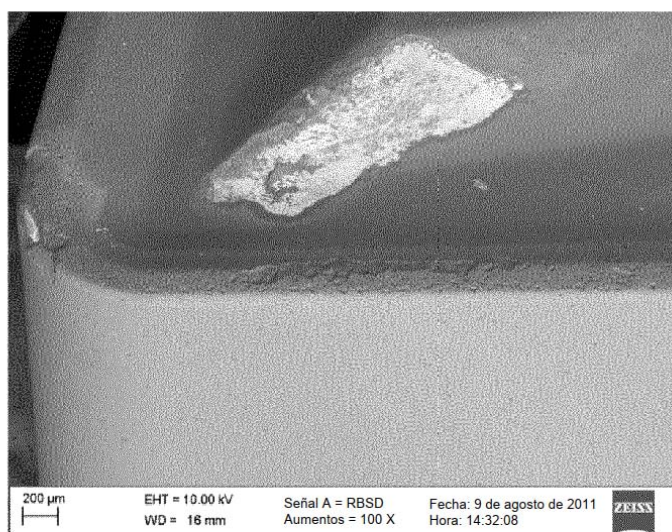


FIG. 4

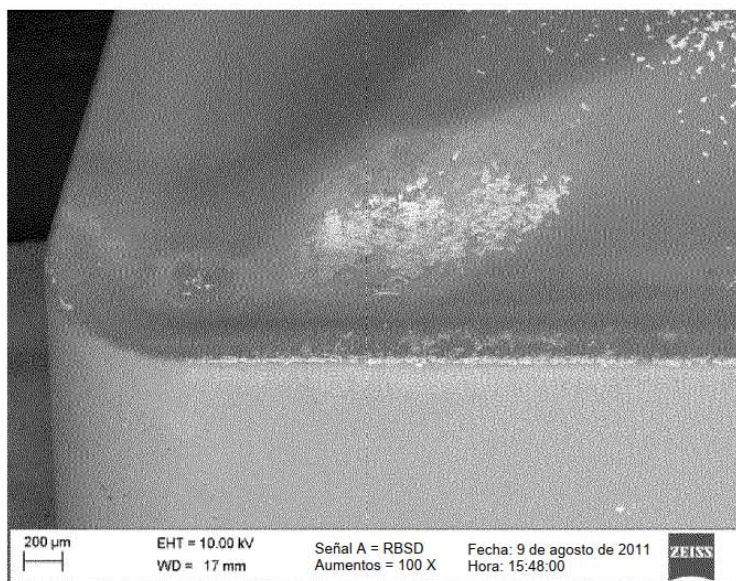


FIG. 5
(Estado de la técnica)

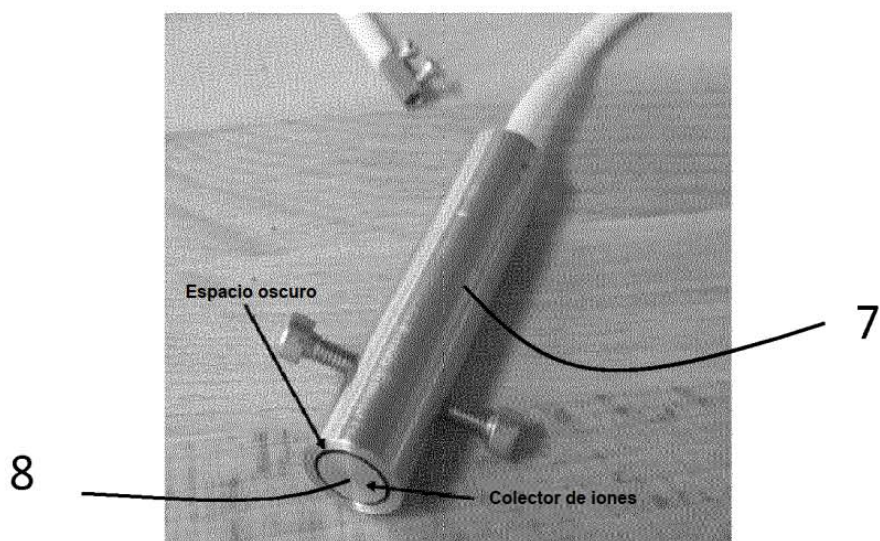


FIG. 6a

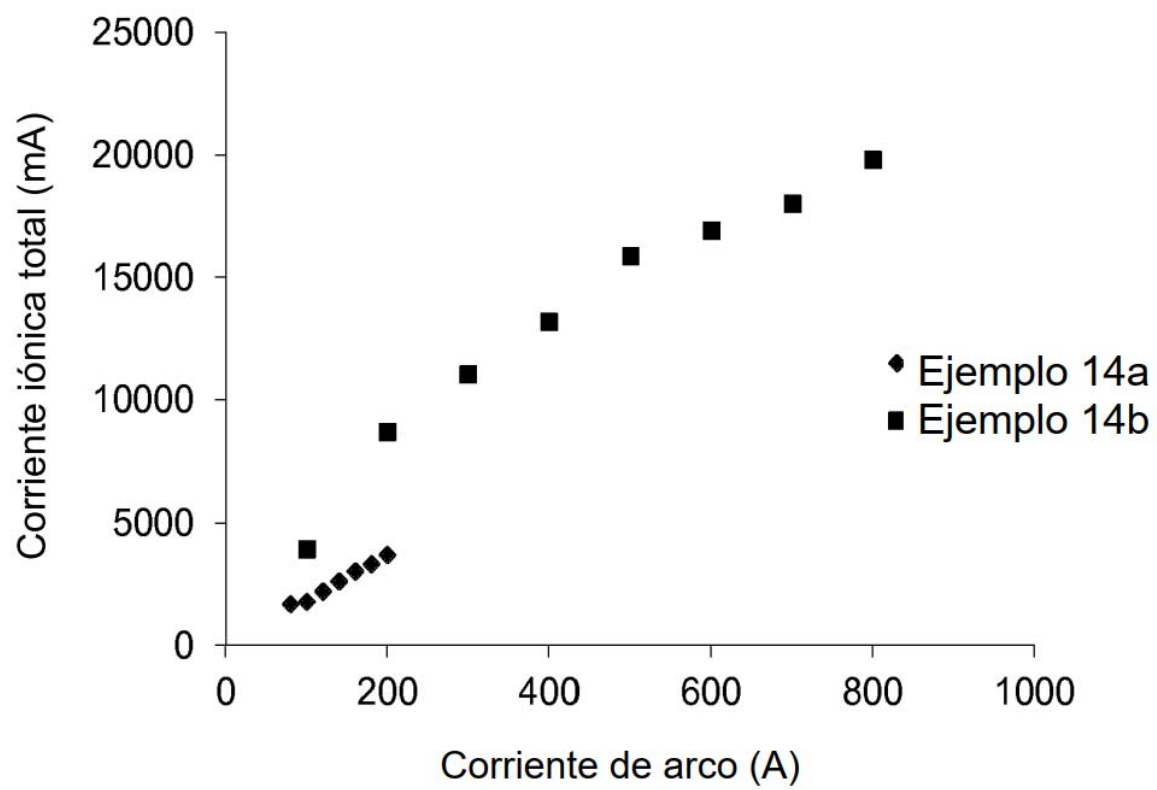


FIG. 6b