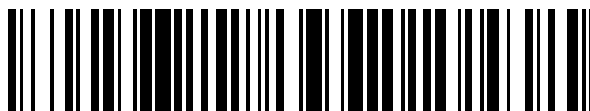


19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 763 959**

51 Int. Cl.:

**C23C 30/00** (2006.01)  
**C23C 28/00** (2006.01)  
**B82Y 30/00** (2011.01)  
**C23C 14/06** (2006.01)  
**C04B 41/89** (2006.01)  
**C04B 41/52** (2006.01)  
**C23C 28/04** (2006.01)  
**C23C 14/32** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **25.06.2012** **PCT/EP2012/002673**  
87 Fecha y número de publicación internacional: **03.01.2013** **WO13000557**  
96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **25.06.2012** **E 12737477 (5)**  
97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **11.09.2019** **EP 2726648**

54 Título: **Recubrimiento de nanocapas para herramientas de alto rendimiento**

30 Prioridad:

**30.06.2011 US 201161503038 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**01.06.2020**

73 Titular/es:

**OERLIKON SURFACE SOLUTIONS AG,  
PFÄFFIKON (100.0%)  
Churerstrasse 120  
8808 Pfäffikon, CH**

72 Inventor/es:

**ARNDT, MIRJAM**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 763 959 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

Recubrimiento de nanocapas para herramientas de alto rendimiento.

5 La presente invención se refiere a métodos para depositar un sistema de recubrimiento duro de nanocapas o una estructura de recubrimiento nanolaminado.

Más específicamente, el sistema de recubrimiento de nanocapas según la presente invención se refiere a un sistema de recubrimiento que incluye nanocapas de tipo A y nanocapas de tipo B. Las nanocapas de tipo A que contienen aluminio, Al, titanio, Ti y nitrógeno, N y las nanocapas de tipo B que contienen titanio, Ti, silicio, Si y nitrógeno, N. Adicionalmente, según la presente invención, preferiblemente al menos algunas de las nanocapas de tipo A y/o las nanocapas de tipo B incluyen también tungsteno, W.

15 Los conceptos "sistema de recubrimiento de nanocapas", "estructura de recubrimiento nanolaminado", "estructura de nanolaminado" y "estructura de nanocapas" se usan indiferenciados en el contexto de la presente invención y tienen el mismo significado.

El sistema de recubrimiento y el método de deposición según la presente invención son especialmente apropiados para la fabricación de brocas de carburo sólido de alto rendimiento, que permiten una mayor productividad en aplicaciones automotrices tales como el mecanizado de acero y hierro fundido en comparación con el estado de la técnica.

Estado de la técnica

25 Las herramientas de corte generalmente se recubren usando métodos PVD (deposición física de vapor) y/o CVD (deposición química de vapor) para lograr una mejor eficiencia mediante operaciones de corte. Los recubrimientos PVD y CVD para herramientas de corte están diseñados principalmente para proporcionar una mayor resistencia al desgaste y resistencia a la oxidación, sin embargo, para lograr una mayor eficiencia, el diseño del recubrimiento debe adaptarse para cada aplicación particular con respecto a la combinación más conveniente de propiedades de recubrimiento. Debido a que se han desarrollado muchos tipos diferentes de recubrimientos PVD (deposición física de vapor) y CVD (deposición química de vapor).

En el documento US5580653 se propone un recubrimiento duro con una composición dada por la siguiente fórmula  $(Al_xTi_{1-x-y}Si_y)(C_{1-z}N_z)$  donde  $0.05 \leq x \leq 0.75$ ,  $0.01 \leq y \leq 0.1$  y  $0.6 \leq z \leq 1$ . Se indicó que si x es menor que 0.05, o y es menor que 0.01, entonces es imposible realizar en grado suficiente la mejora en las propiedades de resistencia a la oxidación. Además, se indicó que si x excede 0.75 o y excede 0.1, la estructura cristalina del recubrimiento cambia de una estructura cúbica a una estructura hexagonal, con la consiguiente disminución de las propiedades de dureza y resistencia al desgaste. Para la deposición del recubrimiento se usaron métodos físicos de deposición de vapor, más específicamente procedimientos de enchapado de iones por descarga de arco, en los que se usaron como material fuente las dianas aleadas que tenían la misma composición metálica que la composición metálica deseada en el recubrimiento.

45 Sin embargo, en el documento US6586122 se mencionó que la mera adición de Si a las películas de recubrimiento de TiAlN convencionales puede mejorar la resistencia a la oxidación como máximo menos de 1.2 veces, lo que es insuficiente para satisfacer las demandas actuales del mercado de corte a alta velocidad. Además, en el documento US6586122 se explicó que aunque la adición de Si a una película de recubrimiento duro a base de Ti puede mejorar ligeramente su resistencia a la oxidación, no puede mejorar suficientemente la resistencia al desgaste estático de la película de recubrimiento original y, por lo tanto, da como resultado una mejora insuficiente. Además, se mencionó que las películas de recubrimiento que simplemente contienen Si son más frágiles por una tensión de compresión notablemente grande que una película de recubrimiento que no contiene Si, y esta tensión de compresión excesiva hace que la película de recubrimiento sea propensa a despegarse rápidamente del sustrato de la herramienta de corte.

Por lo tanto, los autores del documento US6586122 proponen una herramienta de corte con recubrimiento multicapa que contiene Si que puede mostrar un rendimiento de corte suficiente, particularmente una excelente resistencia a la oxidación y al desgaste, que comprende un sustrato de herramienta de corte y una película de recubrimiento multicapa, dicha película de recubrimiento multicapa que comprende una primera película de recubrimiento duro formada sobre dicho sustrato que no contiene Si y una segunda película de recubrimiento duro que contiene Si. La primera película de recubrimiento duro comprende uno o más elementos metálicos seleccionados del grupo que consiste en Ti, Al y Cr, y uno o más elementos no metálicos seleccionados del grupo que consiste en N, B, C y O; mientras que la segunda película de recubrimiento dura comprende Si y uno o más elementos metálicos seleccionados del grupo que consiste en los Grupos 4a, 5a y 6a de la tabla periódica y Al, y uno o más elementos no metálicos seleccionados del grupo que consiste en N, B, C y O. Para mejorar suficientemente el rendimiento de corte de la herramienta de corte, la segunda película de recubrimiento duro debe ser una película policristalina segregada por composición que comprenda una fase que tenga una concentración de Si relativamente alta y una fase que tenga una concentración de Si relativamente baja. Esta segunda película de recubrimiento duro debe

depositarse de tal manera que presente una estructura amorfa o microcristalina en la que los granos de cristal duro ricos en Si (que tienen un tamaño de grano promedio de preferiblemente no más de 50 nm) se dispersen en una matriz constituida por una fase que contiene una cantidad relativamente pequeña de Si. Adicionalmente, se mencionó que dicha película de recubrimiento duro multicapa muestra una tensión de compresión pequeña particularmente especial y una resistencia al desgaste mejorada, así como una adhesión mejorada al sustrato de la herramienta de corte debido a la estructura especial de la segunda película de recubrimiento duro. Además, se explicó que este tipo de películas de recubrimiento duro que contienen Si que contienen diferentes fases con diferentes cantidades de Si no se pueden formar mediante métodos de recubrimiento convencionales sino mediante métodos de recubrimiento que implican cambios secuenciales o periódicos de la energía iónica durante el recubrimiento, por ejemplo, métodos de recubrimiento PVD en los que se aplica un voltaje de pulso de polarización del sustrato que se cambia secuencial o periódicamente entre voltaje positivo y voltaje negativo durante el procedimiento de recubrimiento. De esta manera, se producen cambios secuenciales o periódicos de la energía iónica que también producen cambios en el comportamiento de difusión de iones y posteriormente generan variaciones de la concentración de Si en la película de recubrimiento duro que contiene Si. Además, se indicó que también la temperatura de recubrimiento es un factor importante para controlar el comportamiento de difusión de iones y, por lo tanto, para controlar la forma del cristal, particularmente el tamaño de grano de los cristales que constituyen la fase de alta concentración de Si en la segunda película de recubrimiento duro de la película de recubrimiento multicapa.

El documento WO2010140958 describe una herramienta de corte para mecanizar mediante eliminación de viruta que comprende un cuerpo de una aleación dura de carburo cementado, cermet, cerámica, material a base de nitrato de boro cúbico o acero de alta velocidad, sobre el cual se deposita un recubrimiento de PVD duro y resistente al desgaste caracterizado porque dicho recubrimiento comprende una estructura nanolaminada columnar y policristalina de capas alternas A y B donde la capa A es  $(\text{Ti}_{1-x}\text{Al}_x\text{Me}_1\text{p})\text{N}$ , con  $0.3 < x < 0.95$ , preferiblemente  $0.45 < x < 0.75$ ,  $0.90 < a < 1.10$ , preferiblemente  $0.96 < a < 1.04$ ,  $0 \leq p < 0.15$ , y Me1 es uno o más de Zr, Y, V, Nb, Mo y W, y donde la capa B es  $(\text{Ti}_1\text{-y-zSi}_y\text{Me}_2\text{z})\text{Nb}$ , con  $0.05 < y < 0.25$ , preferiblemente  $0.05 < y < 0.18$ ,  $0 \leq z < 0.4$ ,  $0.9 < b < 1.1$ , preferiblemente  $0.96 < b < 1.04$ , y Me2 es uno o más de Y, V, Nb, Mo, W y Al, con un espesor de la estructura nanolaminada entre 0.5 y 20  $\mu\text{m}$ , preferiblemente entre 0.5 y 10  $\mu\text{m}$ , un ancho promedio de columna entre 20 y 1000 nm, y un espesor individual promedio de las capas A y B entre 1 y 50 nm.

Chang et al. informa sobre recubrimientos que comprenden capas TiSiN y TiAlN en su artículo científico titulado "Characteristics and performance of TiSiN/TiAlN multilayers coating synthesized by cathodic arc plasma evaporation", publicado en la revista científica Surface & Coatings Technology en la edición 202 de 2007, páginas 987- 992. Chang et al. sugiere usar objetivos de aleación de TiSi y TiAl para depositar las estructuras de recubrimiento multicapa mediante el uso de un sistema de evaporación de plasma de arco catódico doble.

Objetivo de la presente invención.

Los métodos de la presente invención proporcionan un sistema de recubrimiento para herramientas de corte de alto rendimiento, en particular un recubrimiento de banda ancha para brocas de carburo sólido de alto rendimiento que permite una mayor productividad en comparación con el estado de la técnica, particularmente en aplicaciones automotrices tales como acero y mecanizado en hierro fundido. Adicionalmente, es un objetivo de la presente invención proporcionar un método de recubrimiento apropiado para la industria para fabricar las herramientas recubiertas de alto rendimiento mencionadas anteriormente. Además, el método de recubrimiento según la presente invención debe ser lo más robusto y sencillo posible.

Descripción de la invención.

El objetivo antes mencionado se logra mediante los métodos definidos en las reivindicaciones 1 y 5.

Para explicar mejor la presente invención, las figuras 1 a 8 se usarán para la descripción:

Figura 1: Borrador de la arquitectura de recubrimiento según la presente invención.

Figura 2: Prueba de corte 1

Figura 3: Prueba de corte 2

Figura 4: Prueba de corte 3

Figura 5: Micrografías electrónicas de barrido de sección transversal fracturadas del recubrimiento, a) Estructura nanolaminada depositada a 570 °C, b) estructura nanolaminada depositada a 500 °C.

Figura 6: Ejemplo del método de medición para el cálculo de la tensión residual  $\sigma$  en la estructura nanolaminada comprendida en el recubrimiento 3 denominado inventivo 3 en la figura 7.

Figura 7: Tensiones residuales  $\sigma$  calculadas de cuatro recubrimientos diferentes 1, 2, 3 y 4.

Figura 8: Dibujo esquemático que muestra la definición del factor  $F_{10/90}$  para el recubrimiento inventivo 1.

- 5 El sistema de recubrimiento duro de nanocapas (5) obtenible según la presente invención se refiere a un sistema de recubrimiento multicapa que incluye nanocapas de tipo A y nanocapas de tipo B depositadas alternativamente una sobre otra. Las nanocapas de tipo A que contienen aluminio, Al, titanio, Ti y nitrógeno, N, y las nanocapas de tipo B que contienen titanio, Ti, silicio, Si y nitrógeno, N. Preferiblemente, al menos algunas nanocapas de tipo A y/o al menos algunas nanocapas de tipo B, incluido adicionalmente tungsteno, W.
- 10 Cada nanocapa de tipo A o B incluida en el sistema de recubrimiento duro de nanocapas según la presente invención tiene fundamentalmente un espesor de capa individual máximo inferior a 200 nm.
- 15 Dentro de la presente invención, un período de nanobicapa se definirá como la suma del espesor de dos nanocapas, respectivamente una nanocapa de tipo A y una nanocapa de tipo B, que se depositan una de cada una repetidamente (al menos dos veces).
- 20 Se determinó que los sistemas de recubrimiento como se describieron anteriormente pero que tienen un período de nanobicapa de aproximadamente 300 nm o más muestran un rendimiento de corte notablemente inferior.
- 25 Por consiguiente, una realización preferida del sistema de recubrimiento duro de nanocapas se caracteriza por tener esencialmente períodos de nanobicapas menores de 300 nm.
- El sistema de recubrimiento duro de nanocapas comprende nanocapas de tipo A y B que tienen una composición de elementos según las siguientes fórmulas:
- Nanocapa A:  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N$  con x e y en % y donde  $0.50 \leq x \leq 0.65$  y  $0 \leq y \leq 0.10$
  - Nanocapa B:  $(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$  con z y u en % y donde  $0.05 \leq z \leq 0.30$  y  $0 \leq u \leq 0.10$
- 30 Además, una realización preferida del recubrimiento duro de nanocapas comprende al menos cuatro o preferiblemente al menos diez nanocapas individuales, respectivamente al menos dos nanocapas de tipo A y dos nanocapas de tipo B o preferiblemente al menos cinco nanocapas de tipo A y cinco nanocapas de tipo B, donde las nanocapas de tipo A y la nanocapa de tipo B se depositan alternativamente, esto es, cada nanocapa de tipo A se deposita en cada una correspondiente nanocapa de tipo B y/o cada una nanocapa de tipo B depositada en cada una de las correspondientes nanocapas de tipo A.
- 35 En la figura 1 se dibuja un sistema de recubrimiento duro de nanocapas (5). El sistema de recubrimiento duro de nanocapas de la figura 1 comprende una cantidad n de nanocapas de tipo A, respectivamente  $A_1, A_2, A_3, \dots A_n$  y una cantidad m de nanocapas de tipo B, respectivamente  $B_1, B_2, B_3, \dots B_m$ , el espesor de las nanocapas de tipo A se indica como dA, respectivamente  $dA_1, dA_2, dA_3, \dots dA_n$ , y el espesor de las nanocapas de tipo B se indica como dB, respectivamente  $dB_1, dB_2, dB_3, \dots dB_m$ . Según la presente invención, la cantidad de nanocapas de tipo A es preferiblemente igual a la cantidad de nanocapas de tipo B:  $n = m$  o al menos  $n \cong m$ .
- 40 En otra realización preferida del recubrimiento duro en nanocapa, el espesor de las nanocapas de tipo A y el espesor de las nanocapas de tipo B son casi iguales:  $dA \cong dB$ , respectivamente  $dA_n \cong dB_m$  y  $A_1 = dA_2 = dA_3 = \dots dA_n$  y  $dB_1 = dB_2 = dB_3 = \dots dB_m$ . Particularmente, se observó un rendimiento de corte muy bueno por los recubrimientos depositados según la presente invención cuando el espesor de las capas B era mayor que el espesor de las capas A. Por lo tanto, en una realización preferida adicional del sistema de recubrimiento duro de nanocapas, el espesor de las nanocapas del tipo A es menor que el espesor de las nanocapas del tipo B:  $dA < dB$  o preferiblemente  $dA \ll dB$ , respectivamente  $dA_n < dB_m$  o preferiblemente  $dA_n \ll dB_m$ , donde  $dA_1 = dA_2 = dA_3 = \dots dA_n$  y  $dB_1 = dB_2 = dB_3 = \dots dB_m$ .
- 45 En una realización más preferida del sistema de recubrimiento duro en capas, el espesor de las nanocapas de tipo A es igual o menor que el espesor de las nanocapas de tipo B y el espesor de las nanocapas A individuales y el espesor de las nanocapas B individuales varían a lo largo del espesor total del recubrimiento:  $dA \leq dB$ , respectivamente  $dA_n \leq dB_m$ , donde
- 50 a)  $dA_1 \geq dA_2 \geq dA_3 \geq \dots dA_n$  y  $dB_1 \geq dB_2 \geq dB_3 \geq \dots dB_m$ , o
- 55 b)  $dA_1 \leq dA_2 \leq dA_3 \leq \dots dA_n$  y  $dB_1 \leq dB_2 \leq dB_3 \leq \dots dB_m$ , o
- 60 c) Al menos una porción del espesor total del recubrimiento comprende nanocapas de tipo A y nanocapas del tipo B depositadas según a) y al menos una porción del espesor total del recubrimiento comprende nanocapas de tipo A y nanocapas de tipo B depositadas según b)
- 65

Como se muestra en la figura 1, la arquitectura de un sistema de recubrimiento duro en nanocapas puede incluir además una capa de capa intermedia (2) entre el sustrato (1) y el sistema de recubrimiento duro en nanocapas compuesto por las nanocapas alternas A y nanocapas B. El espesor y la composición de la capa intermedia (2) deben seleccionarse, por ejemplo, para influir en la textura del sistema de recubrimiento duro de nanocapas y lograr una tensión reducida en el recubrimiento. Adicionalmente, también se puede depositar una capa superior (3) en la última capa del sistema de recubrimiento de nanocapas compuesto por las nanocapas A y las nanocapas B alternas como se dibuja en la figura 1.

En una realización de la presente invención entre el sustrato (1) y el sistema de recubrimiento duro en nanocapas se deposita una capa intermedia (2) que consiste en AlTiN o AlTiWN que tienen la misma proporción de concentración de Al y Ti o Al, Ti y W de la misma en las nanocapas A que forman el sistema de recubrimiento duro de nanocapas.

En otra realización de la presente invención, se deposita una capa superior (3) en la última capa del sistema de recubrimiento de nanocapa compuesto por las nanocapas A y las nanocapas B alternativas para proporcionar un color superficial especial.

Tanto la capa intermedia (2) como la capa superior (3) deben depositarse lo más delgadas posible.

Los recubrimientos de  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N/(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$  según la presente invención se depositaron en brocas de carburo sólido de alto rendimiento usando técnicas PVD. Más exactamente, los recubrimientos se depositaron por medio de métodos de deposición de placas de iones de arco en una máquina de recubrimiento Innova de la compañía Oerlikon Balzers. Los parámetros de recubrimiento especialmente apropiados para la deposición de los recubrimientos según la presente invención fueron:

- Presión de  $N_2$ : 4 - 7 Pa

- Tensión de polarización del sustrato de DC: -20 - -60 V

- Temperatura: 450 - 700 °C

- La corriente de arco se fijó para cada experimento teniendo en cuenta el tipo de evaporador de arco usado para la evaporación del material objetivo y el espesor deseado de las nanocapas.

Otro aspecto importante de la presente invención es la influencia significativa del tipo de evaporador de arco usado para la deposición del recubrimiento.

Se depositaron diferentes tipos de recubrimientos según la presente invención usando diferentes tipos de evaporadores de arco. Se descubrió que los evaporadores de arco del tipo descrito en los documentos de patente WO2010088947 y US20130126347 son particularmente apropiados para la deposición de los recubrimientos según la presente invención. El uso de este tipo de evaporadores de arco fue posible para obtener recubrimientos que muestran un contenido de fase hexagonal más bajo, tensiones de compresión inherentes no demasiado altas y textura preferida, lo que resulta en propiedades de recubrimiento particularmente buenas y el mejor rendimiento de corte.

Usando los evaporadores de arco mencionados anteriormente, fue posible depositar recubrimientos que muestran una excelente combinación de alta rigidez, alta resistencia a la oxidación y baja tensión de compresión intrínseca, lo que da como resultado un excelente rendimiento de corte, particularmente para operaciones de perforación.

Los recubrimientos muestran también un rendimiento superior mediante pruebas de corte que los recubrimientos del estado de la técnica, como se muestra en las figuras 2, 3 y 4.

Los dos evaporadores de arco o fuentes de evaporación de arco mencionados anteriormente fueron decisivos para la deposición de los recubrimientos según la presente invención. En cada caso, la configuración de la fuente de evaporación por arco y el modo operativo influyeron en las propiedades del recubrimiento. Particularmente, fue posible influir en la microestructura de los recubrimientos nanolaminados haciéndolos de grano fino en lugar de columnar obteniendo de tal manera una estructura no columnar pero estructura de grano fino. La formación de estas estructuras de grano fino en las películas nanolaminadas depositadas según la presente invención se puede observar claramente en la figura 5. Las imágenes mostradas en la figura 5 corresponden a micrografías electrónicas de barrido de sección transversal fracturadas de dos recubrimientos depositados según la presente invención y que comprende una estructura (5) nanolaminada de capas A y B alternas, donde las capas A son capas de AlTiN y las capas B son nanocapas de TiSiN, respectivamente, y tienen un período de doble capa (la suma del espesor de una capa A y una capa B depositada alternativamente una sobre otra al menos dos veces, esto es, al menos formando una estructura A/B/A/B o B/A/B/A) de aproximadamente 50 nm o menos. Las estructuras nanolaminadas mostradas en las figuras 5a y 5b se depositaron manteniendo una temperatura del sustrato durante el recubrimiento de

aproximadamente 570 °C y 500 °C, respectivamente. Ambas estructuras nanolaminadas muestran una estructura de grano fino con diferentes tamaños de grano.

Las estructuras nanolaminadas producidas que muestran una estructura de grano fino son en particular más ventajosas para la prevención de la propagación de grietas que los recubrimientos similares que muestran una estructura columnar. Puede ser causada por la diferencia en la distribución del límite de grano o límite de cristal en la estructura nanolaminada. En una estructura columnar, los cristales crecen como columnas en paralelo que tienen, en consecuencia, un largo límite de cristal que se extiende hasta el sustrato a través del espesor del recubrimiento, lo que facilita la propagación de grietas a lo largo del espesor del recubrimiento en dirección al sustrato y, como consecuencia, una delaminación del recubrimiento más rápida o una falla del recubrimiento. En contraste con una estructura columnar, una estructura de grano fino como la que se produce según la presente invención, comprende granos finos cuyo límite de cristal o límite de grano no se extiende al sustrato a través del espesor del recubrimiento y, en consecuencia, detiene la propagación de grietas a lo largo del espesor del recubrimiento en dirección al sustrato.

Posiblemente debido a la razón explicada anteriormente, las estructuras de grano fino exhibidas por las estructuras nanolaminadas formadas según la presente invención muestran un rendimiento de corte particularmente mejor durante las operaciones de perforación y fresado en relación con el tiempo de vida, la resistencia a la fatiga, la resistencia al desgaste del cráter, tenacidad a la fractura y resistencia a la oxidación que las estructuras columnares.

La tensión residual promedio,  $\sigma$ , de la estructura nanolaminada de nanocapas alternas A y B comprendidas en los recubrimientos inventivos depositados según la presente invención se midió y los valores medidos de algunos de los recubrimientos inventivos depositados se muestran en la figura 7. Las tensiones se evaluaron mediante mediciones de XRD usando el método  $\sin^2\psi$ . Las mediciones se realizaron usando radiación  $\text{CuK}\alpha$  del pico 200 a aproximadamente 43 °2 $\theta$ . El método usado para el cálculo de las tensiones residuales en las estructuras de recubrimiento nanolaminadas depositadas según la presente invención se muestra a modo de ejemplo en la figura 6 usando el ejemplo del recubrimiento inventivo 3. El recubrimiento inventivo 3 comprende una estructura nanolaminada de nanocapas de AlTiN y TiSiN alternas, la estructura global nanolaminada tiene una composición promedio en porcentaje atómico de 20.3% de Ti, 14.18% de Al, 2.15% de Si y 55.37% de N, medido por espectroscopía de rayos X de energía dispersiva. El período de la bicapa fue inferior a 50 nm. El recubrimiento inventivo 3 se depositó mediante técnicas de PVD de arco usando objetivos de TiAl de compuesto metalúrgico en polvo que tienen una composición en porcentaje atómico del 60% de Al/40% de Ti para la deposición de las capas de TiAlN y objetivos de TiSi compuestos metalúrgicos fundidos que tienen una composición en porcentaje atómico de 85% de Ti/15% de Si para la deposición de las capas de TiSiN.

En una realización preferida de un recubrimiento según la presente invención, la estructura nanolaminada de nanocapas alternas A y B muestran una tensión residual promedio,  $\sigma$ , entre 2 y 5 GPa, preferiblemente entre 2.5 y 4 GPa, más preferiblemente entre 2.8 y 4 GPa. Estos valores recomendados de tensión residual pueden ser particularmente ventajosos para operaciones de perforación y fresado.

En otra realización preferida de la presente invención, se deposita un nanolaminado  $(\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x-y}\text{W}_y)\text{N}/(\text{Ti}_{1-z-u}\text{Si}_z\text{W}_u)\text{N}$  con  $y = u = 0$  mediante técnicas PVD de arco usando como material fuente objetivos de AlTi hechos mediante técnicas metalúrgicas en polvo y objetivos de TiSi hechos mediante técnicas metalúrgicas en fusión para la deposición de las nanocapas  $(\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x})\text{N}$  y  $(\text{Ti}_{1-z}\text{Si}_z)\text{N}$ , respectivamente.

En una realización preferida adicional de la presente invención, se deposita un nanolaminado  $(\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x-y}\text{W}_y)\text{N}/(\text{Ti}_{1-z-u}\text{Si}_z\text{W}_u)\text{N}$  con  $y = u = 0$  mediante técnicas de PVD de arco usando como material fuente objetivos de AlTi hechos por técnicas metalúrgicas en polvo y objetivos de TiSi también hechos por técnicas metalúrgicas en polvo para la deposición de las nanocapas  $(\text{Al}_x\text{Ti}_{1-x})\text{N}$  y  $(\text{Ti}_{1-z}\text{Si}_z)\text{N}$ , respectivamente.

Ejemplo 1 de deposición de recubrimiento según la presente invención:

Los recubrimientos de 3 AlTiN/TiSiN que tienen un período de bicapa de aproximadamente 5-30 nm se depositaron en brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø en una máquina de recubrimiento de la compañía Oerlikon Balzers del tipo Innova siguiendo las condiciones de recubrimiento:

Presión  $\text{N}_2$ : 6 Pa

Tensión de polarización del sustrato: -40 V (CC)

Temperatura: 570 °C

Los objetivos que tienen una composición de elementos de  $\text{Al}_{0.6}\text{Ti}_{0.4}$  y  $\text{Ti}_{0.85}\text{Si}_{0.15}$  se usaron respectivamente para la deposición de la nanocapa AlTiN y TiSiN. Los objetivos de la fuente de material se evaporaron usando evaporadores de arco del tipo propuesto por Krassnitzer et al. en el documento de Patente WO2010088947, figura 15. Al ajustar los evaporadores de arco para la deposición del recubrimiento, el imán permanente interno (céntrico) se colocó

hacia atrás (atrás) en relación con el objetivo y los imanes permanentes externos se colocaron a una distancia de 8 mm en relación al objetivo. Los evaporadores de arco se hicieron funcionar estableciendo una corriente de bobina de -0.3 A y una corriente de arco de 140 A. Las herramientas de corte recubiertas se trataron después del recubrimiento usando diferentes métodos mecánicos para mejorar la calidad de la superficie.

Las brocas de carburo sólido tratadas posteriormente recubiertas según el ejemplo 1 se probaron mediante las pruebas de corte 1 y 3 y muestran un rendimiento de corte impresionantemente superior en todas las pruebas de corte (véanse las figuras 2 y 4), casi 50% más de tiempo operativo. Los resultados en las pruebas de corte no fueron esencialmente modificados por el arte del tratamiento posterior.

La figura 2 muestra los resultados obtenidos mediante la prueba de corte 1, que se realizó con brocas de carburo sólido recubiertas de 8.5 mm de Ø mediante los siguientes parámetros de corte:

Velocidad de corte  $v_c$ : 180 m/min.

Suministro  $f$ : 0.252 mm/rev

Agujeros pasantes,  $ap$ : 40 mm

Material de la pieza de trabajo: 1.7225 (42CrMo4) a  $R_m = 900$  MPa

La figura 4 muestra los resultados obtenidos mediante la prueba de corte 3, que se realizó con brocas de carburo sólido recubiertas de 8.5 mm de Ø mediante los siguientes parámetros de corte:

Velocidad de corte  $v_c$ : 100 m/min.

Suministro  $f$ : 0.22 mm/rev

Agujeros pasantes,  $ap$ : 40 mm

Material de la pieza de trabajo: EN-GJS-600-3 (fundición nodular)

Ejemplo 2 de deposición de recubrimiento según la presente invención:

Los recubrimientos de AlTiN/TiSiN que tienen un período de bicapa de aproximadamente 8-15 nm se depositaron en brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø en una máquina de recubrimiento de la compañía Oerlikon Balzers del tipo Innova siguiendo las condiciones de recubrimiento:

Presión  $N_2$ : 5 Pa

Tensión de polarización del sustrato: -30 V (CC)

Temperatura: 570 °C

Los objetivos que tienen una composición de elementos de  $Al_{0.6}Ti_{0.4}$  y  $Ti_{0.75}Si_{0.25}$  se usaron respectivamente para la deposición de la nanocapa AlTiN y TiSiN. Los objetivos de la fuente de material se evaporaron usando evaporadores de arco del mismo tipo que los descritos en el ejemplo 1. Para el ajuste del sistema de imanes, el imán permanente interno también se colocó hacia atrás en relación con los objetivos, mientras que los imanes permanentes externos se colocaron respectivamente en una distancia de 8 mm y 10 mm de los objetivos TiAl y TiSi. Los evaporadores de arco para la evaporación de los objetivos TiAl y TiSi fueron operados respectivamente estableciendo corrientes de bobina de -0.3 A y - 0.5 A y corrientes de arco de 140 A y 160 A.

Ejemplo 3 de deposición de recubrimiento según la presente invención:

Los recubrimientos AlTiN/TiSiN que tienen un período de bicapa de aproximadamente 5-30 nm se depositaron en brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø en una máquina de recubrimiento de la compañía Oerlikon Balzers del tipo Innova siguiendo las condiciones de recubrimiento:

Presión  $N_2$ : 6 Pa

Tensión de polarización del sustrato: -50 V (DC)

Temperatura: 500 °C

Los objetivos que tienen una composición de elementos de  $Al_{0.6}Ti_{0.4}$  y  $Ti_{0.80}Si_{0.20}$  se usaron respectivamente para la deposición de la nanocapa AlTiN y TiSiN. Los objetivos de la fuente de material se evaporaron usando evaporadores

de arco del mismo tipo usado en los ejemplos 1 y 2. Los evaporadores de arco se hicieron funcionar con los mismos parámetros que los usados en el ejemplo 1.

Los recubrimientos depositados según los ejemplos 2 y 3 también mostraron un rendimiento de corte muy bueno en pruebas de corte similares a las descritas en las pruebas de corte 1 y 3.

Ejemplo 4 de deposición de recubrimiento según la presente invención:

Se depositaron recubrimientos AlTiN/TiSiN según la presente invención que tienen un período de bicapa de aproximadamente 5-30 nm en brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø. Para la evaporación de los objetivos TiAl y TiSi se usaron evaporadores de arco del tipo descrito en el documento US20130126347. Este tipo de evaporadores de arco comprende un cátodo (objetivo), un ánodo y un medio magnético, que permiten conducir las líneas de corriente del campo magnético al ánodo, que está dispuesto en la vecindad directa del cátodo. Los evaporadores de arco fueron operados para la evaporación de los objetivos TiAl y TiSi, estableciendo respectivamente corrientes de bobina de 1.0 A y 1.2 A y corrientes de arco de 200 A y 180 A.

Las brocas de carburo sólido recubiertas según el ejemplo 4 también se trataron posteriormente y su rendimiento de corte se evaluó mediante la prueba de corte 2. Los resultados de la prueba de corte 2 se muestran en la figura 3.

La figura 3 muestra los resultados obtenidos mediante la prueba de corte 2, que se realizó con brocas de carburo sólido recubiertas de 8.5 mm de Ø mediante los siguientes parámetros:

Velocidad de corte  $v_c$ : 80 m/min.

Suministro f: 0.284 mm/rev.

Agujeros pasantes, ap: 40 mm

Material de la pieza de trabajo: 1.7225 (42CrMo4) a  $R_m = 900$  MPa

Ejemplo 5 de deposición de recubrimiento según la presente invención:

Los recubrimientos AlTiN/TiSiN según la presente invención que tienen un período de bicapa de aproximadamente 30, 50, 75, 100, 150, 180, 200, 250 y 300 nm se depositaron en diferentes lotes en brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø, usando evaporadores de arco del mismo tipo que los usados en el ejemplo 4. Las corrientes de arco en el intervalo de 160-200 A y 180-200 A se establecieron respectivamente para la evaporación del material de los objetivos TiSi- y AlTi. La corriente de la bobina también se ajustó correspondientemente.

En general, los recubrimientos que tienen períodos de nanobicapa de aproximadamente 300 nm mostraron un rendimiento de corte inferior marcado, mientras que los recubrimientos que tienen períodos de nanobicapa inferiores a 100 nm mostraron un rendimiento de corte particularmente mejor. Los resultados de las pruebas de corte de brocas de carburo sólido de alto rendimiento de 8.5 mm de Ø recubiertas según el ejemplo 4 fueron comparables a las obtenidas mediante pruebas de corte de las brocas de carburo sólido recubiertas según los ejemplos 1-3.

Usando los evaporadores de arco mencionados anteriormente, fue posible depositar recubrimientos según la presente invención que muestran valores de dureza de recubrimientos de aproximadamente 36 - 46 GPa y valores de módulo de Young de aproximadamente 400 - 470 GPa. Tanto la dureza del recubrimiento como los valores del módulo de Young se midieron usando técnicas de nanoindentación.

Además, los recubrimientos depositados según la presente invención muestran una intensidad de textura  $200/100 \geq 10$  determinada por exámenes de rayos X.

La proporción del ancho del pico  $PW_{I_{10}/90}$  se calculó usando la fórmula:  $PW_{I_{10}}/PW_{I_{90}}$ , donde  $PW_{I_{10}}$  y  $PW_{I_{90}}$  son el ancho completo del pico 200 al 10% y 90% de la intensidad máxima del pico, respectivamente. El pico 200 se mide a aproximadamente  $43^\circ$  en el eje  $2\theta$  usando difracción de rayos X con radiación  $CuK\alpha$ . La línea de difracción se corrigió con respecto a la contribución de la radiación  $CuK\alpha_2$ , las estadísticas de difracción (suavizado) y el fondo. El pico 200 obtenido de este modo, medido en la estructura nanolaminada de capas alternas A y B que está comprendido en el recubrimiento inventivo 1, se muestra a modo de ejemplo en la figura 8.

Los valores característicos de  $PW_{I_{10}/90}$  de las estructuras de recubrimiento nanolaminadas de capas alternas A y B  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N/(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$  depositados según la presente invención se informan en la tabla 1:

Tabla 1:  $PW_{I_{10}/90}$  medido para estructuras de recubrimiento nanolaminadas  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N/(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$  depositadas según la presente invención que están comprendidas en los recubrimientos inventivos 1, 2, 3 y 4.

| Revestimiento inventivo | PW <sub>I</sub> 10/90 |
|-------------------------|-----------------------|
| 1                       | 6.5                   |
| 2                       | 6.2                   |
| 3                       | 7.1                   |
| 4                       | 6.8                   |

Según la presente invención, el nanolaminado  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N/(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$  presenta una proporción del ancho del pico PW<sub>I</sub> 10/90 medido en el pico 200 a aproximadamente 43° en el eje 2θ, usando difracción de rayos X con radiación CuKα, de acuerdo con el método descrito anteriormente, de menos de 7.5, preferiblemente menos de 7.

La presente invención describe un cuerpo recubierto, preferiblemente una herramienta recubierta que comprende un cuerpo (1), sobre el cual se deposita un recubrimiento PVD duro y resistente al desgaste caracterizado porque el recubrimiento comprende una estructura (5) nanolaminada de capas A y B alternas A1, A2, A3, ... An y B1, B2, B3, ... Bm, respectivamente, donde la capa A es  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N$ , con  $0.50 \leq x \leq 0.65$  y  $0 \leq y \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por x, 1-x-y e y corresponden a la concentración atómica de aluminio, titanio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos aluminio, titanio y tungsteno para la cuantificación del elemento en la capa A, y donde la capa B es  $(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$ , con  $0.05 \leq z \leq 0.30$  y  $0 \leq u \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por 1-z-u, z y u corresponden a la concentración atómica de titanio, silicio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos titanio, silicio y tungsteno para la cuantificación del elemento en dicha capa B, con un espesor de la estructura nanolaminada entre 0.01 y 30 μm, preferiblemente entre 1 y 15 μm, un espesor individual promedio de las capas A y B está entre 1 y 200 nm, respectivamente, preferiblemente entre 1 y 50 nm, más preferiblemente entre 1 y 30 nm, caracterizado porque la estructura nanolaminada de capas alternas A y B muestra una estructura de grano fino.

Más preferiblemente, el cuerpo recubierto es una herramienta de corte que comprende un cuerpo (1) de una aleación dura de carburo cementado, cermet, cerámica, material a base de nitruro de boro cúbico o acero de alta velocidad.

Preferiblemente, el espesor de las capas A (A1, A2, A3, ... An), denominado dA1, dA2, dA3 ... dAn, es igual o menor que el espesor de las capas B (B1, B2, B3, ... Bm), denominados dB1, dB2, dB3 ... dBm, comprendidos en la estructura nanolaminada de capas alternas A y B, preferiblemente el espesor de las capas A es igual o menor que el % del espesor de las capas B:  $dA1 \leq \% dB1$ ,  $dA2 \leq \% dB2$ ,  $dA3 \leq \% dB3$ ,  $dAn \leq \% dBm$ ,

Preferiblemente en al menos una parte del espesor total de la estructura nanolaminada:

- el espesor de las capas A y/o el espesor de las capas B permanece constante, de modo que  $dA1 = dA2 = dA3 \dots = dAn$  y/o  $dB1 = dB2 = dB3 \dots = dBm$ , y/o

- el espesor de las capas A y/o el espesor de las capas B aumenta, de modo que  $dA1 \geq dA2 \geq dA3 \dots \geq dAn$  y/o  $dB1 \geq dB2 \geq dB3 \dots \geq dBm$ , y/o

- el espesor de las capas A y/o el espesor de las capas B disminuye, de modo que  $dA1 \leq dA2 \leq dA3 \dots \leq dAn$  y/o  $dB1 \leq dB2 \leq dB3 \dots \leq dBm$

Preferiblemente, en la estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento de un cuerpo recubierto como se menciona anteriormente:

- la suma de los espesores de una nanocapa de tipo A y una nanocapa de tipo B depositadas alternativamente una sobre otra formando un período de nanobicapa es inferior a 300 nm, preferiblemente inferior a 100 nm, más preferiblemente entre 5 y 50 nm, y

- dicha estructura de recubrimiento nanolaminado comprende al menos un total de cuatro nanocapas A individuales y B depositadas alternativamente una sobre otra formando una arquitectura multicapa A1/B1/A2/B2/ o B1/A1/B2/A2, preferiblemente al menos un total de diez nanocapas individuales que forman una arquitectura multicapa A1/B1/A2/B2/A3/B3/A4/B4/A5/B5 o B1/A1/B2/A2/B3/A3/B4/A4/B5/A5.

Preferiblemente, en la estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento de un cuerpo recubierto como se menciona anteriormente:

- la estructura nanolaminada presenta una estructura de grano fino que comprende granos cuyo tamaño más grande es 1/3 del espesor total de la estructura de recubrimiento nanolaminado.

Preferiblemente, en la estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento de un cuerpo recubierto como se menciona anteriormente:

- la estructura nanolaminada presenta una estructura de grano fino que comprende granos que tienen un tamaño medio máximo de 1000 nm, preferiblemente entre 10 y 800 nm, más preferiblemente entre 10 y 400 nm.

La estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento del cuerpo recubierto mencionado anteriormente es una estructura equiaxial en la que los granos tienen aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones.

La estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento del cuerpo recubierto mencionado anteriormente puede tener una tensión residual promedio,  $\sigma$ , que está entre 2.5 y 5 GPa, preferiblemente entre 3 y 4 GPa.

La estructura de recubrimiento nanolaminado comprendida en el recubrimiento del cuerpo recubierto mencionado anteriormente tiene una proporción del ancho del pico,  $PW_{I_{10/90}}$ , que es inferior a 7.5, preferiblemente inferior a 7, donde:

$$- PW_{I_{10/90}} = PW_{I_{10\%}} / PW_{I_{90\%}},$$

-  $PW_{I_{10\%}}$  y  $PW_{I_{90\%}}$  son el ancho completo del pico 200 al 10% y 90% de la intensidad del pico máxima, respectivamente, y

- el pico 200 se mide usando difracción de rayos X con radiación  $CuK\alpha$  a aproximadamente  $43^\circ$  en el eje 2 $\theta$ . La línea de difracción se corrigió con respecto a la contribución de la radiación  $CuK\alpha_2$ , las estadísticas de difracción (suavizado) y el fondo.

En una realización preferida de un recubrimiento, el recubrimiento comprende:

- al menos una capa intermedia (2) depositada entre el sustrato (1) y dicha película de recubrimiento nanolaminado (5), y/o

- al menos una capa superior (3) depositada en la nanocapa más externa de la película de recubrimiento nanolaminado (5).

Preferiblemente, el cuerpo recubierto según la presente invención es una herramienta de perforación o fresado.

Preferiblemente, el cuerpo recubierto según la presente invención se usa para operaciones de perforación o fresado, más preferiblemente para perforación de acero, acero inoxidable o hierro fundido o fresado de acero endurecido o acero inoxidable.

Un método de fabricación de un cuerpo recubierto según la presente invención es un método de PVD de arco caracterizado por el uso de al menos una fuente de evaporización de arco para la deposición de la película de recubrimiento de nanocapas sobre la superficie del sustrato, en el que una fuente de evaporización de arco comprende una disposición de campo magnético provista en un objetivo para generar campos magnéticos en y sobre la superficie del objetivo, en el que la disposición de campo magnético comprende imanes permanentes marginales y al menos una bobina de anillo colocada detrás del objetivo, cuyo diámetro interno definido por los devanados es menor o igual que y, en cualquier caso, no son considerablemente más grandes que el diámetro del objetivo, y los imanes permanentes marginales se pueden desplazar fuera del objetivo esencialmente perpendicularmente a la superficie del objetivo y la proyección de los imanes permanentes marginales en la superficie objetivo está más lejos del centro de la superficie objetivo en comparación con la proyección de la bobina de anillo sobre la superficie del objetivo, el imán permanente céntrico interno o interno se coloca hacia atrás en relación con el objetivo y el imán permanente exterior o externo se coloca a una distancia de varios milímetros en relación con el objetivo, preferiblemente entre 6 y 10 mm, más preferiblemente aprox. 8 mm. Preferiblemente, al usar este método para la deposición de la estructura de recubrimiento nanolaminado según la presente invención, se aplica una corriente de bobina negativa, la corriente de bobina aplicada está preferiblemente entre -0.1 y -1 A.

Un método adicional de fabricación de un cuerpo recubierto según la presente invención es un método de PVD de arco caracterizado por el uso de al menos una fuente de evaporización de arco para el depósito de la película de recubrimiento de nanocapas sobre la superficie del sustrato, en el que al menos una fuente de evaporización de arco comprende un objetivo usado como cátodo, un ánodo dispuesto en la vecindad directa del cátodo y medios magnéticos que permiten conducir las líneas de corriente del campo magnético al ánodo. Preferiblemente, usando este método para la deposición de la estructura de recubrimiento nanolaminado según la presente invención, se aplica una corriente de bobina positiva, la corriente de bobina aplicada es preferiblemente entre 0.5 y 2 A. Preferiblemente, el método aplicado para la deposición de estructuras de recubrimiento nanolaminado según la presente invención comprende el uso como material de recubrimiento fuente de:

- al menos un objetivo compuesto hecho por medio de técnicas metalúrgicas en polvo, que comprende aluminio y titanio para la deposición de la nanocapa de tipo A, y/o

5 - al menos un objetivo compuesto hecho por medio de técnicas metalúrgicas de fusión, que comprende titanio y silicio para la deposición de la nanocapa del tipo B.

# REIVINDICACIONES

1. Método de fabricación de un cuerpo recubierto que tiene al menos una superficie recubierta con un recubrimiento que comprende una estructura (5) nanolaminada de nanocapas A alternas de  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N$ , con  $0.50 \leq x \leq 0.65$  y  $0 \leq y \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por x, 1-x-y e y corresponden a la concentración atómica de aluminio, titanio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos aluminio, titanio y tungsteno para la cuantificación del elemento en las nanocapas A, y las nanocapas B de  $(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$ , con  $0.05 \leq z \leq 0.30$  y  $0 \leq u \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por 1-z-u y u corresponden a la concentración atómica de titanio, silicio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos titanio, silicio y tungsteno para la cuantificación del elemento en las nanocapas B, la estructura (5) nanolaminada que tiene un espesor entre 0.01 y 30  $\mu m$  y las nanocapas A y B que tienen un espesor promedio individual entre 1 y 200 nm, en el que al menos una fuente de evaporización de arco que comprende una diana que consiste en material de fuente de recubrimiento se usa para la deposición de la estructura (5) nanolaminada, el método se caracteriza porque la al menos una fuente de evaporización de arco comprende una disposición de campo magnético proporcionada en el objetivo para generar campos magnéticos en y sobre la superficie del objetivo, en el que la disposición del campo magnético comprende imanes permanentes marginales, un imán permanente céntrico y al menos una bobina de anillo colocada detrás del objetivo, cuyo diámetro interno definido por los devanados es menor o igual que, y en cualquier caso no considerablemente más grande que el diámetro del objetivo, y durante la deposición de la estructura nanolaminada, los imanes marginales permanentes se colocan lejos del objetivo, a una distancia de varios milímetros en relación con el objetivo, de tal manera que la proyección de los imanes permanentes marginales en la superficie del objetivo está más lejos del centro de la superficie del objetivo por comparación a la proyección de la bobina de anillo sobre la superficie del objetivo, y el imán permanente céntrico se coloca hacia atrás en relación con el objetivo,

en el que

- la estructura nanolaminada no muestra una estructura columnar pero muestra una estructura de grano fino caracterizada por comprender granos finos cuyo límite de grano no se extiende al sustrato a través del espesor del recubrimiento,

- los granos finos tienen aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones,

- la estructura nanolaminada muestra una proporción del ancho de pico  $PW_{I_{10/90}}$  que es menor que 7.5, preferiblemente menor que 7, donde

-

$$- PW_{I_{10/90}} = PW_{I_{10\%}} / PW_{I_{90\%}},$$

-  $PW_{I_{10\%}}$  y  $PW_{I_{90\%}}$  son el ancho completo del pico 200 al 10% y 90% de la intensidad máxima del pico, respectivamente,

y

- el pico 200 se mide usando difracción de rayos X con radiación  $CuK\alpha$  a aproximadamente  $43^\circ$  en el eje 2 $\theta$ , y la línea de difracción se corrige con respecto a la contribución de la radiación  $CuK\alpha_2$ , las estadísticas de difracción (suavizado) y el fondo.

2. Método según la reivindicación 1, caracterizado porque la distancia entre los imanes permanentes y el objetivo está entre 6 y 10 mm, preferiblemente aproximadamente 8 mm.

3. Método según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, caracterizado porque se aplica una corriente de bobina negativa.

4. Método según la reivindicación 3, caracterizado porque la corriente de bobina aplicada está entre -0.1 y -1 A.

5. Método de fabricación de un cuerpo recubierto que tiene al menos una superficie recubierta con un recubrimiento que comprende una estructura (5) nanolaminada de nanocapas A alternas de  $(Al_xTi_{1-x-y}W_y)N$ , con  $0.50 \leq x \leq 0.65$  y  $0 \leq y \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por x, 1-x-y e y corresponden a la concentración atómica de aluminio, titanio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos aluminio, titanio y tungsteno para la cuantificación del elemento en las nanocapas A, y las nanocapas B de  $(Ti_{1-z-u}Si_zW_u)N$ , con  $0.05 \leq z \leq 0.30$  y  $0 \leq u \leq 0.10$ , donde los coeficientes dados por 1-z-u y u corresponden a la concentración atómica de titanio, silicio y tungsteno, respectivamente, considerando solo los elementos titanio, silicio y tungsteno para la cuantificación del elemento en las nanocapas B, la estructura (5) nanolaminada que tiene un espesor entre 0.01 y 30  $\mu m$  y las nanocapas A y B que tienen un espesor promedio individual entre 1 y 200 nm, en el que al menos una fuente de evaporización de arco que comprende un objetivo que consiste en material fuente de recubrimiento se usa para la deposición de la

estructura (5) nanolaminada, el método se caracteriza porque la al menos una fuente de evaporización de arco comprende adicionalmente un ánodo dispuesto en la vecindad directa del cátodo y medios magnéticos que se usan para producir un campo magnético de tal manera que las líneas de corriente del campo magnético se conducen al ánodo durante la deposición de las nanocapas

en el que

- la estructura nanolaminada no muestra una estructura columnar pero muestra una estructura de grano fino caracterizada por comprender granos finos cuyo límite de grano no se extiende al sustrato a través del espesor del recubrimiento,

- los granos finos tienen aproximadamente las mismas dimensiones en todas las direcciones,

- la estructura nanolaminada muestra una proporción del ancho de pico  $PW_{I_{10/90}}$  que es menor que 7.5, preferiblemente menor que 7, donde

$$PW_{I_{10/90}} = PW_{I_{10\%}} / PW_{I_{90\%}},$$

-  $PW_{I_{10\%}}$  y  $PW_{I_{90\%}}$  son el ancho completo del pico 200 al 10% y 90% de la intensidad máxima del pico, respectivamente,

y

- el pico 200 se mide usando difracción de rayos X con radiación  $CuK\alpha$  a aproximadamente  $43^\circ$  en el eje  $2\theta$ , y la línea de difracción se corrige con respecto a la contribución de la radiación  $CuK\alpha_2$ , las estadísticas de difracción (suavizado) y el fondo

6. Método según la reivindicación 5, caracterizado porque se aplica una corriente de bobina positiva.

7. Método según la reivindicación 6, caracterizado porque la corriente de bobina aplicada está entre 0.5 y 2 A.

8. Método según una cualquiera de las reivindicaciones anteriores desde 1 a 7, caracterizado porque al menos dos fuentes de evaporación por arco, cada fuente de evaporización de arco que comprende un objetivo que se usa como material fuente para el depósito de la estructura nanolaminada que tiene nanocapas del tipo A con  $y = 0$  y nanocapas del tipo B con  $u = 0$ , en el que

- el objetivo comprendido en una de las al menos dos fuentes de evaporación por arco es un objetivo compuesto de aluminio y titanio, que se usa para la deposición de la nanocapa de tipo A, y

- el objetivo comprendido en la otra de las al menos dos fuentes de evaporación por arco es un objetivo compuesto de titanio y silicio, que se usa para la deposición de la nanocapa de tipo B,

en el que:

- el objetivo compuesto de aluminio y titanio está hecho por técnicas metalúrgicas en polvo y el objetivo de titanio y silicio está hecho por técnicas metalúrgicas por fusión o por técnicas metalúrgicas en polvo,

y

- se establece una presión de  $N_2$ .

9. Método según la reivindicación 8, caracterizado porque al menos durante la deposición de la estructura nanolaminada

- la presión de  $N_2$  está entre 4 y 7 Pa, y

- se aplica un voltaje de polarización de DC negativo, preferiblemente un voltaje de polarización entre -20 y -60 V y

- el sustrato se mantiene a una temperatura no inferior a  $450^\circ C$  y no superior a  $700^\circ C$ .

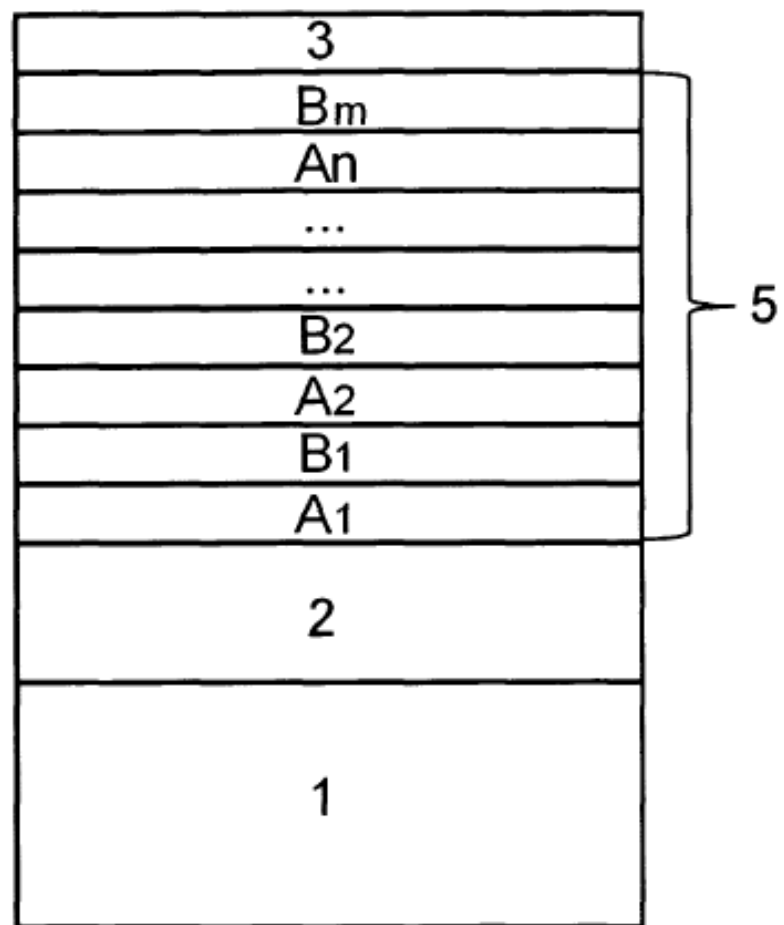


Fig. 1

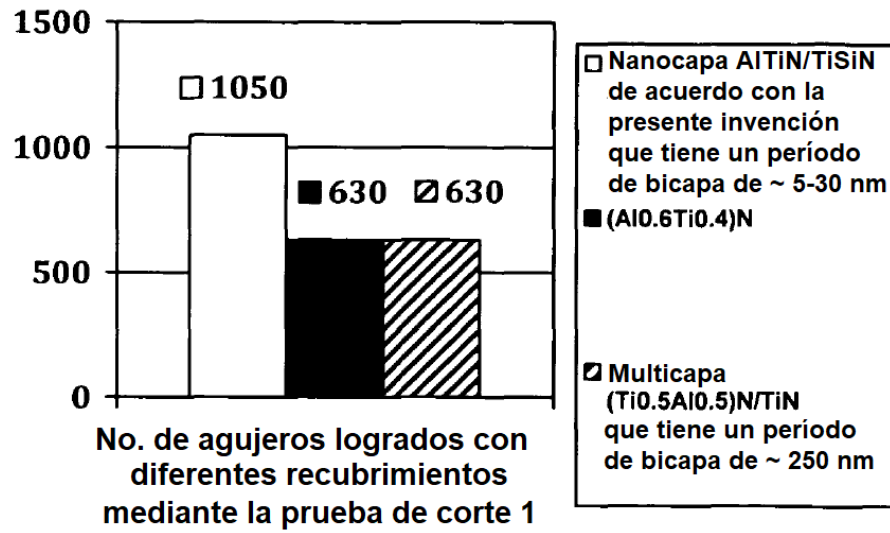


Fig. 2

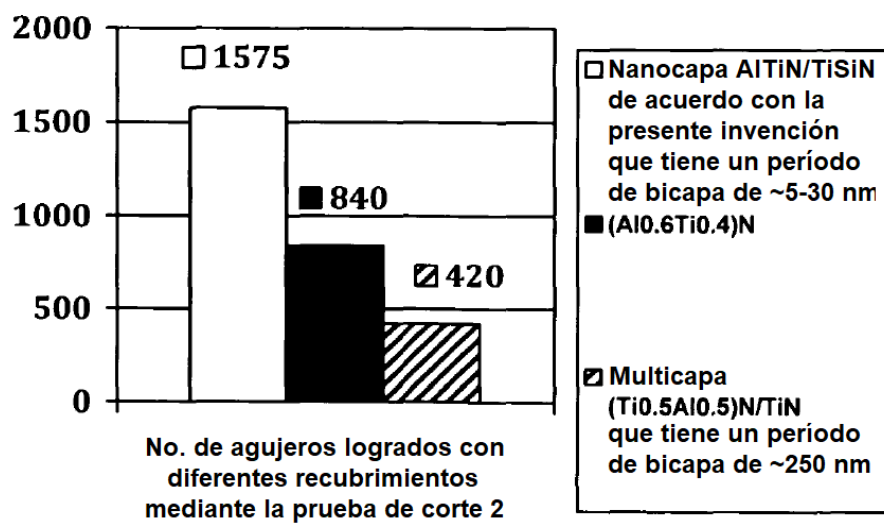


Fig. 3

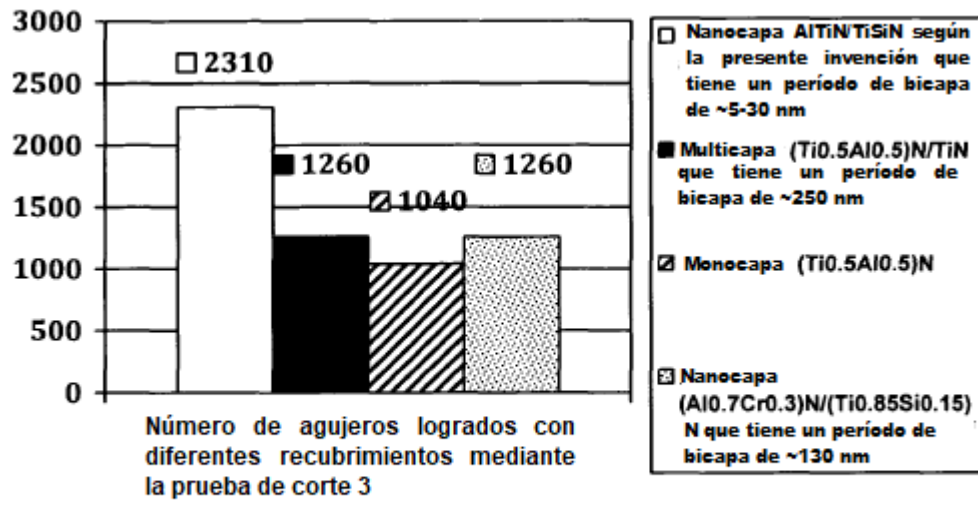


Fig. 4

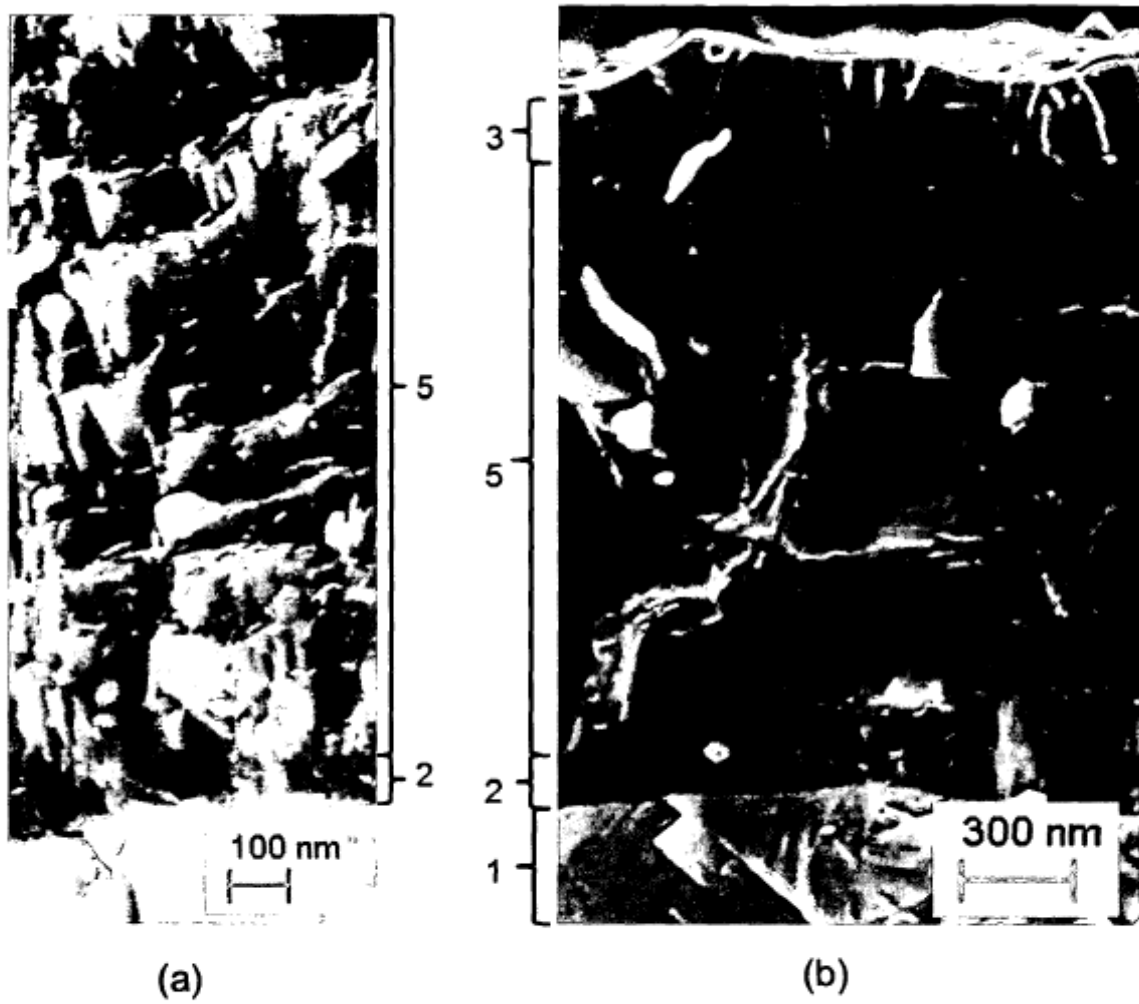


Fig. 5

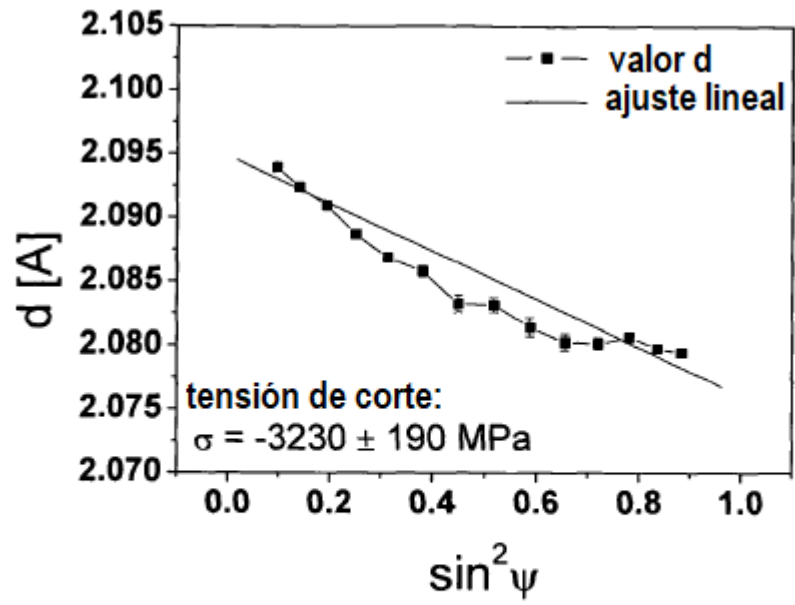


Fig. 6

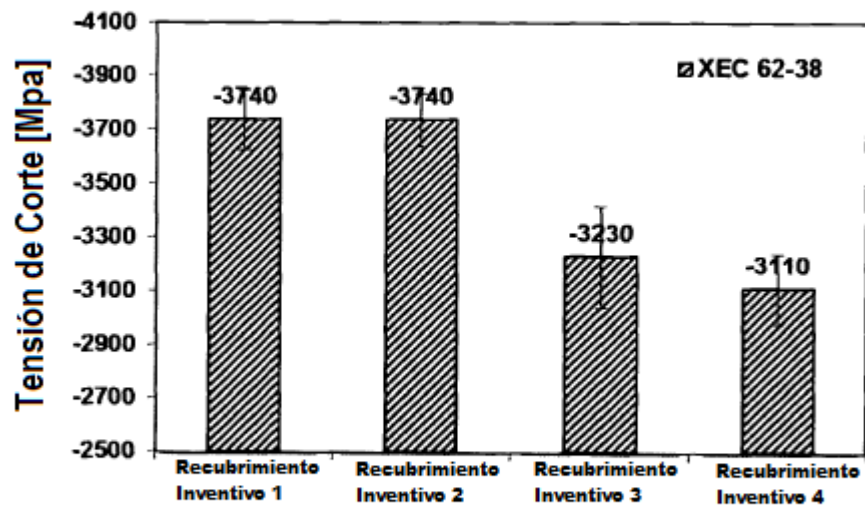


Fig. 7

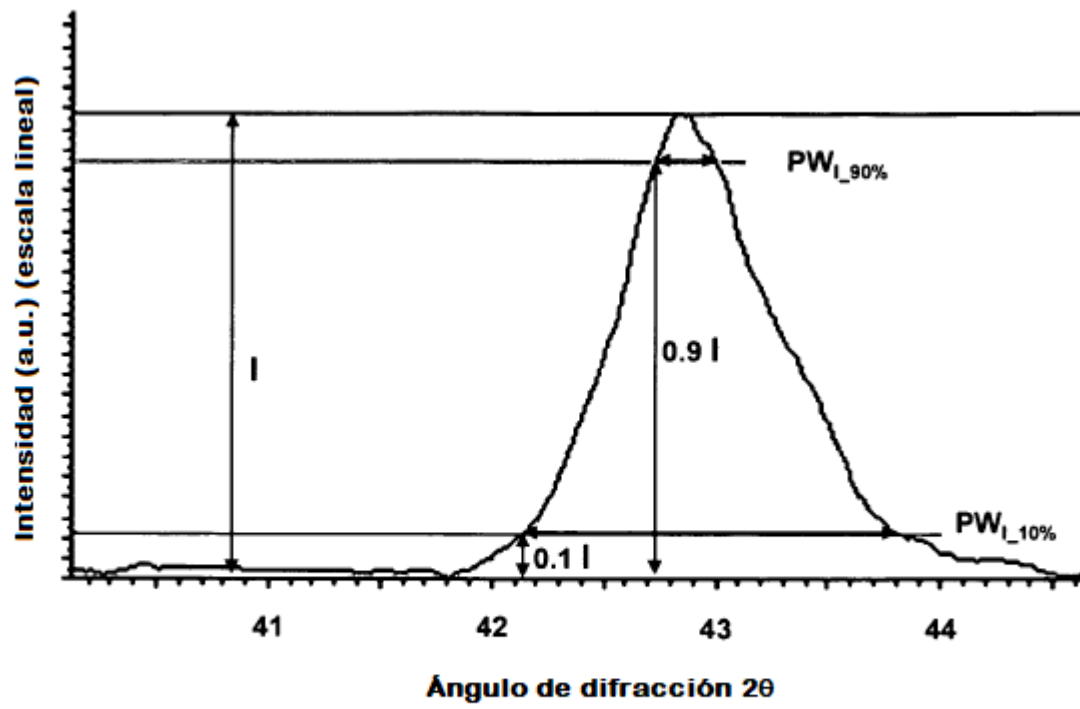


Fig. 8