

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 798**

51 Int. Cl.:

C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
B23B 27/14 (2006.01)
B23B 51/00 (2006.01)
B23C 5/16 (2006.01)
C23C 28/04 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)
C23C 30/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **04.09.2015 PCT/JP2015/075271**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **09.03.2017 WO17037956**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2015 E 15903075 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.01.2020 EP 3346022**

54 Título: **Revestimiento duro y elemento recubierto con un revestimiento duro**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
06.08.2020

73 Titular/es:
OSG CORPORATION (100.0%)
22 Honnogahara 3-chome Toyokawa-shi
Aichi 442-0005, JP

72 Inventor/es:
SAKURAI MASATOSHI y
WANG MEI

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 777 798 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

Revestimiento duro y elemento recubierto con un revestimiento duro

5 **ÁMBITO TÉCNICO**

La presente invención se refiere a una pieza recubierta con un revestimiento duro que tiene una excelente resistencia térmica y una excelente resistencia a la soldadura, y más concretamente a una pieza de este tipo recubierta con un revestimiento duro de excelente resistencia térmica y resistencia a la soldadura que incluye una capa A de nitruro de AlCr(SiC) y una capa nanométrica interpuesta, laminadas alternadamente, cuya capa nanométrica interpuesta incluye una capa B de nitruro de TiAl y una capa C de nitruro de Ti(SiC), ambas de espesor nanométrico, que están laminadas alternadamente.

15 **ANTECEDENTES DE LA PRESENTE INVENCIÓN**

Para diversas herramientas de mecanización, tales como herramientas cortantes (p.ej. taladro, fresa escariadora, fresa de corte, torno de corte), herramientas no cortantes (p.ej. terraja, laminadora, matriz de prensa) y también varias partes de la herramienta, tales como una pieza de fricción que deba tener resistencia al desgaste, se propone una técnica para recubrir la superficie de un sustrato hecho de carburo cementado o de acero de herramientas de alta velocidad con un revestimiento duro, a fin de mejorar la resistencia al desgaste y la durabilidad.

Por otro lado, tanto en el documento de patente 1 como en el documento no patentado 1 se ha propuesto un taladro recubierto con un revestimiento duro del sistema TiAlN / sistema TiCrN. En el documento de patente 2 se propone un taladro con un revestimiento duro constituido por una estructura multicapa del sistema AlCrN y el sistema TiSiN.

25 Los documentos US 2006 / 0 269 789 A1, US 2011 / 0 117 342 A1 y US 2012 / 0 213 990 A1 aportan antecedentes del estado técnico referentes a los revestimientos duros.

30 **DOCUMENTOS DEL ESTADO TÉCNICO ANTERIOR**

DOCUMENTOS DE PATENTE

[Documento de patente 1] WO2013/000557
 [Documento de patente 2] JP2008-534297A

35 **DOCUMENTOS NO PATENTADOS**

[Documento no patentado 1] "Mechanical properties and failure models of TiAl(Si)N single and multilayer thin films [*Propiedades mecánicas y modelos de fallo de películas delgadas monocapa o multicapa de TiAl(Si)N*]" (autores: O. Durdnd-Drouhin, AE Santana, A. Karimi, VH Derflinger, A. Schutze) en las páginas 260-266 de "Surface and Coatings Technology" (Suiza) volúmenes 163-164, publicado por Elsevier Science en 2003.

REVELACIÓN DE LA PRESENTE INVENCIÓN

45 **OBJETIVO DE LA PRESENTE INVENCIÓN**

Sin embargo, el taladro descrito en el documento de patente 1 y en el documento no patentado 1 tenía un problema de insuficiente resistencia al desgaste al utilizarlo para taladrar acero al carbono o hierro fundido. El taladro descrito en el documento de patente 2 tenía un problema de bajo rendimiento al utilizarlo para taladrar acero aleado o acero inoxidable, por falta de resistencia a la soldadura.

La presente invención se hizo teniendo en cuenta los antecedentes expuestos anteriormente. Por tanto un objeto de la presente invención es el de proporcionar una herramienta dotada de un revestimiento duro, que tenga resistencia al desgaste al utilizarla para cortar acero al carbono, hierro fundido o materiales análogos, y resistencia a la soldadura al utilizarla para cortar acero aleado, inoxidable acero o materiales análogos.

Varios estudios efectuados por los presentes inventores, teniendo en cuenta la situación arriba descrita, revelaron que una herramienta dotada de un revestimiento duro tiene resistencia al desgaste al utilizarla para cortar acero al carbono o hierro fundido, y resistencia a la soldadura al utilizarla para cortar acero aleado o acero inoxidable, si el revestimiento duro incluye una capa A de nitruro de AlCr(SiC) y una capa nanométrica interpuesta, laminadas alternadamente hasta un espesor total no superior a 20 µm, y la capa nanométrica interpuesta incluye una capa B de nitruro de TiAl y una capa C de nitruro de Ti(SiC). La presente invención se hizo basándose en el hecho revelado.

65 **MEDIDAS PARA LOGRAR ESTE OBJETIVO**

El revestimiento de la presente invención es (a) una capa dura que cubre la superficie de un sustrato, de modo que

(b) el revestimiento duro tiene un espesor total de 0,5-20 μm e incluye una capa A y una capa nanométrica interpuesta que se laminan alternadamente por deposición física de vapor, y la capa nanométrica interpuesta incluye una capa B y una capa C laminadas alternativamente, (c) la capa A tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un nitruro de AlCr(SiC) que tiene una composición de fórmula $[\text{Al}_{1-w-x}\text{Cr}_w(\text{SiC})_x]\text{N}$ y opcionalmente incluye un aditivo α , donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20, (d) la capa B tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiAl que tiene una composición de fórmula $[\text{Ti}_{1-y}\text{Al}_y]\text{N}$ y opcionalmente incluye un aditivo β , donde la proporción atómica Y es de 0,30-0,85, (e) la capa C tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de Ti(SiC) que tiene una composición de fórmula $[\text{Ti}_{1-z}(\text{SiC})_z]\text{N}$ y opcionalmente incluye un aditivo γ , donde la proporción atómica Z es de 0,05-0,45, y (f) la capa nanométrica interpuesta tiene un espesor de 50-1000 nm.

En una forma de ejecución de la presente invención, la relación T_A/T_{NL} entre el espesor T_A de la capa A y el espesor T_{NL} de la capa nanométrica interpuesta es de 0,2-10.

La capa A contiene opcionalmente un aditivo α que es al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo formado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, de modo que la proporción del contenido de aditivo α no es superior al 20%.

La capa B contiene opcionalmente un aditivo β que es al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo formado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que la proporción del contenido de aditivo β no es superior al 10%.

La capa C contiene opcionalmente un aditivo γ que es al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo formado por B, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la proporción del contenido de aditivo γ no es superior al 10%.

En otra forma de ejecución de la presente invención el revestimiento duro se deposita para cubrir directamente el sustrato.

En otra forma de ejecución de la presente invención el revestimiento duro se deposita para cubrir el sustrato mediante una capa intermedia que tiene un espesor de 50-1000 nm y es sustancialmente del mismo material que el de las capas A, B y C o de la capa nanométrica interpuesta.

En otra forma de ejecución el sustrato está cubierto parcial o totalmente con el revestimiento duro según cualquiera de las invenciones primera hasta séptima.

EFFECTO DE LA PRESENTE INVENCION

Según la presente invención, el revestimiento duro aplicado sobre la superficie del sustrato tiene un espesor total de 0,5-20 μm e incluye la capa A y la capa nanométrica interpuesta, laminadas alternadamente por deposición física de vapor, de tal modo que la capa nanométrica interpuesta comprende la capa B y la capa C laminadas alternadamente. La capa A tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Al}_{1-w-x}\text{Cr}_w(\text{SiC})_x]\text{N}$ y opcionalmente lleva un aditivo α , donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20. La capa B tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiAl cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-y}\text{Al}_y]\text{N}$ y opcionalmente lleva un aditivo β , donde la proporción atómica Y es de 0,30-0,85. La capa C tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de Ti(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-z}(\text{SiC})_z]\text{N}$ y opcionalmente lleva un aditivo γ , donde la proporción atómica Z es de 0,05-0,45. La capa nanométrica interpuesta tiene un espesor de 50-1000 nm. Los granos de cristal de cada capa están refinados, lo cual mejora la resistencia del revestimiento y proporciona excelente resistencia a la oxidación, gran dureza y tenacidad. Además, la estructura de laminación alternante de capa A y capa nanométrica interpuesta evita el avance de las grietas y por tanto mejora la resistencia al desgaste y la resistencia a la formación de virutas. Por lo tanto permite obtener una herramienta que sea resistente al desgaste al usarla para cortar acero al carbono, hierro fundido o materiales análogos, y resistente a la soldadura al usarla para cortar acero aleado, acero inoxidable o materiales análogos.

Según una forma de ejecución de la presente invención, la relación T_A/T_{NL} entre el espesor T_A de la capa A y el espesor T_{NL} de la capa nanométrica interpuesta es de 0,2-10. Por tanto es posible obtener una herramienta que sea resistente al desgaste al utilizarla para cortar acero al carbono, hierro fundido o materiales análogos, y resistente a la soldadura al utilizarla para cortar acero aleado, acero inoxidable o materiales análogos.

Según la presente invención la capa A contiene el aditivo α , que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo formado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, en una proporción no superior al 20%. Así se produce un fortalecimiento de la solución sólida en la capa A, que puede incrementar la dureza de dicha capa. Además, como la resistencia al desgaste resulta excelente también mejora la resistencia y la tenacidad a temperaturas altas, y al subir la temperatura durante una operación de corte se forma en la superficie un óxido que proporciona excelente resistencia al desgaste y preferiblemente un equilibrio entre la resistencia al desgaste y la resistencia a la soldadura, y que por tanto prolonga la vida útil de la herramienta.

Según la presente invención la capa B contiene el aditivo β , que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo formado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, en una proporción no superior al 10%. Así se produce un fortalecimiento de la solución sólida en la capa B, que puede incrementar la dureza del nitruro de TiAl, proporcionando

una excelente resistencia al desgaste.

5 Según la presente invención la capa C contiene el aditivo γ , que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo formado por B, V, Y, Nb, Mo y W, en una proporción no superior al 10%. Así se produce un fortalecimiento de la solución sólida en la capa C, que puede incrementar la dureza del nitruro de Ti(SiC), proporcionando una excelente resistencia al desgaste. En concreto, cuando el aditivo γ es al menos uno de los elementos V, Nb, Mo y W se forma un óxido debido al aumento de temperatura durante una operación de corte, lo cual tiene un efecto autolubrificante y por tanto prolonga la vida útil de la herramienta.

10 Según otra forma de ejecución el revestimiento duro se deposita cubriendo directamente el sustrato. Por consiguiente no es necesario depositar una capa intercalada entre el revestimiento duro y el sustrato, lo cual facilita la producción.

15 Según otra forma de ejecución el revestimiento duro se deposita cubriendo el sustrato mediante una capa intermedia que tiene un espesor de 50-1000 nm y es esencialmente del mismo material que el de las capas A, B y C o de la capa nanométrica interpuesta, lo cual permite incrementar todavía más la fuerza de unión entre el revestimiento duro y el sustrato.

20 Según otra forma de ejecución, el sustrato de la herramienta está recubierto parcial o totalmente por el revestimiento duro según cualquiera de las invenciones primera hasta séptima. Así se puede obtener una herramienta resistente al desgaste al emplearla para cortar acero al carbono o hierro fundido, y resistente a la soldadura al emplearla para cortar acero aleado o acero inoxidable.

25 La herramienta cubierta con el revestimiento duro arriba descrito se utiliza preferiblemente como herramienta giratoria de corte, por ejemplo un taladro y una fresadora; como herramienta cortante no giratoria, por ejemplo un torno; como no herramienta cortante, por ejemplo una terraja; un cilindro laminador o una matriz de prensa, y cualquier otro tipo de herramienta de mecanizado. Sin embargo la herramienta provista del revestimiento duro descrito anteriormente no tiene que usarse necesariamente como una herramienta de mecanizado, sino que puede emplearse como cualquiera de los diversos tipos de piezas recubiertas con un revestimiento duro resistente al desgaste, como por ejemplo la pieza de un rodamiento, que requiere resistencia a la abrasión y a la oxidación.

30 Además, el revestimiento duro de la presente invención se forma preferiblemente por chapado mediante arco iónico, por un método DFV tal como chisporroteo y deposición asistida por haz de iones, u otra forma de deposición física de vapor.

35 Además, para las herramientas de alta velocidad se usa preferiblemente carburo cementado o acero como sustrato que puede cubrirse con el revestimiento duro de la presente invención. No obstante se pueden emplear como sustrato cualquiera de los demás materiales destinados a herramientas, como cermet, cerámica, diamante policristalino y NBC policristalino.

40 DESCRIPCIÓN BREVE DE LAS FIGURAS

La fig. 1 es una vista frontal que muestra un taladro provisto de un revestimiento duro según una forma de ejecución de la presente invención.

45 La fig. 2 es una vista ampliada de la parte inferior del taladro de la fig. 1, desde su extremo distal, para explicar una construcción del mismo.

La fig. 3 es una ilustración esquemática de un ejemplo de la estructura laminada del revestimiento duro adecuado para cubrir el taladro de la fig. 1.

La fig. 4 es una ilustración esquemática de otro ejemplo de la estructura laminada del revestimiento duro adecuado para cubrir el taladro de la fig. 1.

50 La fig. 5 es una ilustración esquemática de otro ejemplo más de la estructura laminada del revestimiento duro adecuado para cubrir el taladro de la fig. 1.

La fig. 6 es una ilustración esquemática de otro ejemplo más de la estructura laminada del revestimiento duro adecuado para cubrir el taladro de la fig. 1.

55 La fig. 7 es una ilustración esquemática de un aparato de chapado por arco iónico, como ejemplo de un dispositivo de deposición física de vapor para aplicar el revestimiento duro de la fig. 1 sobre el sustrato de una herramienta.

La fig. 8 es una tabla que indica los elementos integrantes del nitruro de AlCr(SiC) que constituye la capa A y la proporción de cada uno de estos elementos en las muestras de ensayo 1-50, las cuales difieren en cuanto al tipo de elementos integrantes y su proporción, en cuanto al tipo de elementos adicionales y su proporción, y en cuanto al espesor de cada una de las capas A, B y C que forman el revestimiento duro.

60 La fig. 9 es una tabla que indica los elementos integrantes del nitruro de TiAl que constituye la capa B y la proporción de cada uno de estos elementos en las muestras de ensayo 1-50 relacionadas en la fig. 8.

La fig. 10 es una tabla que indica los elementos integrantes del nitruro de Ti(SiC) que constituye la capa C y la proporción de cada uno de estos elementos en las muestras de ensayo 1-50 relacionadas en la fig. 8.

65 La fig. 11 es una tabla que indica el espesor de cada una de las capas A, B y C, el número de pares de capas B y C laminadas, el espesor de cada una de las capas nanométricas interpuestas, el espesor de la capa intermedia, el número de pares de capa A y capa nanométrica interpuesta laminadas, y el espesor total del revestimiento duro

en las muestras de ensayo 1-50 relacionadas en la fig. 8.

La fig. 12 es una tabla que indica la dureza del revestimiento, la anchura del desgaste, la distancia de corte y el resultado de la valoración de las muestras de ensayo 1-50 relacionadas en la fig. 8.

5 La fig. 13 es una representación gráfica del aumento característico de la anchura del desgaste producido por el incremento de la distancia de corte en las muestras 2, 3, 12, 22, 29, 37, 40 y 44 de las muestras de ensayo 1-50 relacionadas en la fig. 8.

FORMAS DE LLEVAR A CABO LA PRESENTE INVENCION

10 A continuación se describe detalladamente un revestimiento duro, como forma de ejecución de la presente invención, haciendo referencia a las figuras.

FORMA DE EJECUCION

15 Las figs. 1 y 2 son ilustraciones de un taladro 10 como ejemplo de una herramienta o pieza provista de un revestimiento duro 24 según la presente invención. La fig. 1 es una vista frontal en dirección perpendicular al eje O del taladro 10. La fig. 2 es una vista ampliada de la parte inferior del taladro 10, desde su extremo distal, provista de unos bordes cortantes 12. Este taladro 10 es un taladro helicoidal doblemente acanalado, compuesto por un vástago 14 y un cuerpo 16 axialmente contiguos e integrados entre sí. El cuerpo 16 tiene un par de estrías 18 creadas respectivamente en el cuerpo 16, que giran en dirección helicoidal alrededor del eje O según el sentido de las agujas del reloj. Los extremos axialmente distales de las respectivas estrías 18 configuran el par de bordes cortantes 12. El taladro 10 debe girarse en el sentido de las agujas del reloj, visto desde un lado del vástago 14, de modo que los bordes 12 corten una pieza mecanizada agujereándola, mientras que las virutas resultantes del corte de la pieza mecanizada son evacuadas por el orificio hacia el vástago 14 a través de las estrías 18.

20 En cada cara de los flancos 20 adyacentes a los respectivos bordes cortantes 12 del extremo distal del cuerpo 16 se abre un par de orificios de salida 22 del fluido de corte, que se extienden longitudinalmente desde una cara extrema del vástago 14 atravesando el vástago 14 y el cuerpo 16. En la fig. 1 el área sombreada indica la porción provista del revestimiento duro 24. En la presente forma de ejecución el cuerpo 16 de la broca 10 lleva el revestimiento duro 24. No obstante, el taladro 10 puede estar totalmente cubierto con el revestimiento duro 24.

25 La fig. 3 es una ilustración esquemática que muestra ampliada una sección transversal del revestimiento duro 24 del taladro 10. Como muestra la fig. 3, el revestimiento duro 24 está aplicado sobre el substrato de una herramienta 30 de carburo cementado, por ejemplo, mediante una capa intermedia 32 formada por deposición física de vapor hasta llegar a un espesor de 50-1000 nm aproximadamente. El revestimiento duro 24 está formado por deposición física de vapor y consta de las capas A 34 y de las capas nanométricas interpuestas 40 como superficies multicapa. Cada una de las capas A 34 está aplicada hasta un espesor de 50-1000 nm. Cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 está formada por capas B 36, cada una de 1-100 nm de espesor, y por capas C 38, cada una de 1-100 nm de espesor. Las capas B 36 y las capas C 38 se laminan alternadamente hasta que cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 tenga un espesor de 50~1000 nm. Las capas A 34 y las capas nanométricas interpuestas 40 están laminadas alternadamente para que el revestimiento duro 24 tenga un espesor total de 0,5-20 μm. En el revestimiento duro 24 representado en la fig. 3 el número de capas A y capas nanométricas interpuestas, 34, 40, laminadas alternadamente es, por ejemplo, un número par, y el número de capas B y C, 36, 38, laminadas alternadamente en cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 es, por ejemplo, un número impar no inferior a 3.

35 Cada una de las capas A 34 tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición tiene la fórmula $[Al_{1-w-x}Cr_w(SiC)_x]N$, en la cual la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20. El nitruro de AlCr(SiC) contiene un aditivo α constituido por al menos un elemento seleccionado de un grupo formado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, de manera que la proporción del contenido de aditivo α no es superior al 20%. El aditivo α tiene la característica de fortalecer la solución sólida, aumentando la dureza y la resistencia del nitruro de AlCr(SiC) y formando un óxido sobre la superficie del nitruro de AlCr(SiC) al subir la temperatura durante una operación de corte, con lo cual mejora la resistencia al desgaste.

40 Cada una de las capas B 36 tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiAl cuya composición tiene la fórmula $[Ti_{1-y}Al_y]N$, en la cual la proporción atómica Y es de 0,30-0,85. Cada una de las capas B 36 contiene un aditivo β que está constituido por al menos un elemento seleccionado de un grupo formado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que la proporción del contenido del aditivo β no supera el 10%. El aditivo β tiene la característica de fortalecer la solución sólida, lo cual aumenta la dureza del nitruro de TiAl y contribuye a mejorar la resistencia al desgaste.

45 Cada una de las capas C 38 tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiSi cuya composición tiene la fórmula $[Ti_{1-z}(SiC)_z]N$, en la cual la proporción atómica Z es de 0,05-0,45. Cada una de las capas C 38 contiene un aditivo γ que está constituido por al menos un elemento seleccionado de un grupo formado por B, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la proporción del contenido del aditivo γ no supera el 10%. El aditivo γ tiene la propiedad de fortalecer la solución sólida, lo cual aumenta la dureza del nitruro de TiAl y contribuye a mejorar la resistencia al desgaste. Además, con las adiciones de γ, V, Nb, Mo y W, al aumentar la temperatura durante una operación de corte se forma un óxido que tiene un efecto autolubrificante y contribuye por tanto a aumentar la vida útil de la herramienta.

La capa intermedia 32 se forma por una deposición física de vapor similar a la deposición física de vapor mediante la cual se forma el revestimiento duro 24, hasta tener un espesor de 50-1000 nm. La capa intermedia 32 puede ser del nitruro de AlCr(SiC) que constituye las capas A 34, del nitruro de TiAl que constituye las capas B 36, del nitruro de Ti(SiC) que constituye las capas C 38, o del material (nitruro de TiAl / nitruro de Ti(SiC)) de la estructura nanométrica laminada básicamente igual al de las capas nanométricas interpuestas 40. La fig. 3 muestra un ejemplo en que la capa intermedia 32 es de un material básicamente igual al de las capas A 34, es decir, de nitruro de AlCr(SiC).

En cada una de las capas nanométricas interpuestas 40, el número de capas laminadas B y C, 36, 38, puede ser un número par o un número impar no inferior a 3. Además, la capa superior o la capa inferior de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 puede ser una capa B 36 o una capa C 38. En el revestimiento duro 24, el número de capas A y capas nanométricas interpuestas, 34, 40, laminadas alternadamente puede ser un número par o un número impar no inferior a 3. Además, la capa superior o la capa inferior del revestimiento duro 24 puede ser una capa A 34 o una capa nanométrica interpuesta 40.

Las figs. 4, 5 y 6 muestran estructuras de otros ejemplos respectivos del revestimiento duro 24. El revestimiento duro 24 de la fig. 4 se distingue del de la fig. 3 en que el número de capas A y capas nanométricas interpuestas, 34, 40, laminadas alternadamente es un número impar, en que el número de capas laminadas B y C, 36, 38, en cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 es un número impar, y en que la capa intermedia 32 es de un nitruro de TiAl que es básicamente el mismo material de las capas B 36. El revestimiento duro 24 de la fig. 5 se distingue del de la fig. 3 en que la capa intermedia 32 aplicada entre el sustrato de la herramienta 30 y el revestimiento duro 24 es de un material (nitruro de TiAl / nitruro de Ti(SiC)) de estructura nanométrica laminada básicamente igual al material de las capas nanométricas interpuestas 40. El revestimiento duro 24 de la fig. 6 se distingue del de la fig. 3 en que el número de capas A y capas nanométricas interpuestas, 34, 40, laminadas alternadamente es un número impar, en que la capa superior del revestimiento duro 24 está formada por la capa nanométrica interpuesta 40, y en que el revestimiento duro 24 está aplicado directamente sobre el sustrato de la herramienta 30, sin la capa intermedia 32.

La fig. 7 es una ilustración esquemática de un dispositivo de chapado por arco iónico 50 empleado para fabricar el taladro 10. El aparato de chapado por arco iónico 50 se utiliza para formar la capa intermedia 32, las capas A 34, las capas B 36 y las capas C 38 por deposición física de vapor iónico, de manera que estas capas 32, 34, 36, 38 queden aplicadas sobre el sustrato de la herramienta 30, cuya forma es básicamente igual a la del taladro 10 representado en las figs. 1 y 2.

El aparato de chapado por arco iónico 50 comprende, por ejemplo, una mesa giratoria 54 que se acciona para girar alrededor de un eje de rotación básicamente perpendicular y para sostener varias piezas mecanizadas, es decir, varios sustratos de herramienta 30, aún sin el revestimiento duro 24, que están conformados con los bordes cortantes 12 y las estrías 18; una fuente de alimentación de voltaje de polarización 56 para aplicar un voltaje de polarización negativo a los sustratos de herramienta 30; un recipiente de proceso en forma de una cámara 58 que aloja en su interior los sustratos de herramienta 30; un calentador 59 instalado en la cámara 58; un dispositivo de alimentación de gas 60 para suministrar un gas de reacción a la cámara 58; un dispositivo de descarga de gas 62 para extraer un gas desde el interior de la cámara 58, por ejemplo mediante una bomba de vacío, a fin de rebajar la presión en el interior de la cámara 58; una primera fuente de arco eléctrico 64; una segunda fuente de arco eléctrico 66 y una tercera fuente de arco eléctrico 68. La mesa giratoria 54 tiene forma cilíndrica o de prisma poligonal, cuyo centro corresponde al eje de rotación descrito anteriormente. Los diversos sustratos de herramienta 30 se mantienen en la periferia de la mesa giratoria 54, colocados respectivamente de tal manera que su extremo distal sobresalga hacia arriba. El dispositivo de alimentación de gas de reacción 60 está provisto de un tanque en el que se almacena gas argón (Ar) y también de un tanque en el que se almacena gas nitrógeno, con el fin de suministrar el gas nitrógeno cuando debe formarse la capa intermedia 32, las capas A 34, las capas B 36 y las capas C 38.

La primera fuente de arco eléctrico 64; la segunda fuente de arco eléctrico 66 y la tercera fuente de arco eléctrico 68 están configuradas para suministrar energía selectivamente con una corriente de arco entre cada uno de los ánodos 72, 76, 80 y sus respectivos cátodos, en forma de una primera fuente de evaporación 70, de una segunda fuente de evaporación 74 y de una tercera fuente de evaporación 78 constituidas por material de deposición de vapor, haciendo que el material de evaporación se evapore selectivamente de la correspondiente primera fuente de evaporación 70, de la segunda fuente de evaporación 74 y de la tercera fuente de evaporación 78. Una vez evaporado, el material de evaporación se ioniza positivamente y se deposita sobre el sustrato de herramienta 30 al que se aplica el voltaje de polarización negativo (-). Se ajusta de manera que la primera fuente de arco eléctrico 64, la segunda fuente de arco eléctrico 66 y la tercera fuente de arco eléctrico 68 se seleccionen para evaporar una composición destinada a obtener cada una de las capas intermedia 32, A 34, B 36 y C 38. Se determina la corriente de arco y el voltaje de polarización. Además se fijan condiciones de formación del revestimiento tales como una temperatura de 400-550°C y un nivel de vacío de 2-10 Pa. El espesor de cada una de las capas intermedia 32, A 34, B 36 y C 38 se ajusta regulando el periodo de tiempo para la formación del revestimiento.

Por ejemplo, la primera fuente de evaporación 70 está formada por el material de deposición de la capa A, que es un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[Al_{1-w-x}Cr_w(SiC)_x]N$, donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20, y contiene el aditivo α , que es al menos un elemento elegido

del grupo integrado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, en proporción no superior al 20%. La segunda fuente de evaporación 74 está formada por el material de deposición de la capa B, que es un nitruro de TiAl cuya composición corresponde a la fórmula $[Ti_{1-y}Al_y]N$, donde la proporción atómica Y es de 0,30~0,85, y contiene el aditivo β , que es al menos un elemento escogido del grupo integrado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, en proporción no superior al 10%. La tercera fuente de evaporación 78 está formada por el material de deposición de la capa C, que es un nitruro de Ti(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[Ti_{1-z}(SiC)_z]N$, donde la proporción atómica Z es de 0,05~0,45, de modo que el nitruro de Ti(SiC) contiene el aditivo γ , que es al menos un elemento escogido del grupo integrado por B, V, Y, Nb, Mo y W, en proporción no superior al 10%.

Para formar la capa intermedia 32 sobre el sustrato de herramienta 30, por ejemplo, se evapora el nitruro de AlCr(SiC) desde la primera fuente de evaporación 70 mediante la primera fuente de arco eléctrico 64, o se evapora el nitruro de TiAl desde la segunda fuente de evaporación 74 mediante la segunda fuente de arco eléctrico 66. Para formar cada una de las capas A 34 sobre el sustrato de herramienta 30, se evapora el nitruro de AlCr(SiC) desde la primera fuente de evaporación 70 mediante la primera fuente de arco eléctrico 64. Para formar cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 sobre el sustrato de herramienta 30, se alternan periodos de evaporación del nitruro de TiAl desde la segunda fuente de evaporación 74 mediante la segunda fuente de arco eléctrico 66 y periodos de evaporación del nitruro de Ti(SiC) desde la tercera fuente de evaporación 78 mediante la tercera fuente de arco eléctrico 68, por lo cual las capas B 36 de orden nanométrico formadas por el nitruro de TiAl y las capas C 38 de orden nanométrico formadas por el nitruro de Ti(SiC) se laminan alternativamente. Realizando selectivamente estas operaciones, el revestimiento duro 24 representado en la fig. 3 se deposita sobre el sustrato de la herramienta 30, por ejemplo.

Para comprobar la resistencia al desgaste y la resistencia a la soldadura, los presentes inventores prepararon 50 tipos de muestras de ensayo 1-50, aplicando en cada una de ellas el revestimiento duro 24 representado en la fig. 3 sobre el sustrato de herramienta 30, que tiene básicamente la misma forma que el taladro 10 ilustrado en las figs. 1 y 2 y es de carburo cementado, usando el aparato de chapado por arco iónico 50 de la fig. 7. Las muestras de ensayo 1-50 son diferentes entre sí, tal como se indica en las figs. 8, 9, 10 y 11, en cuanto a las proporciones de la composición (en %) y al espesor (nm) de la capa intermedia 32, de las capas A 34, de las capas B 36 y de las capas C 38, en cuanto al número de pares de capas B y C, 36, 38 laminadas en cada una de las capas nanométricas interpuestas 40, en cuanto al espesor de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 y en cuanto al número de pares de capas A y capas nanométricas interpuestas, 34, 40, laminadas alternadamente. Después, los presentes inventores midieron la dureza del revestimiento de cada una de las muestras de ensayo 1-50 según un método de medición de dureza de recubrimientos (dureza Vickers) descrito a continuación, y también la anchura de desgaste y la distancia de corte al efectuar un corte con cada una de las muestras de ensayo 1-50 en unas condiciones de prueba, para evaluar el rendimiento de cada muestra de ensayo. La fig. 12 presenta el resultado de la valoración. Nótese que los valores de la composición indicados en las figs. 8, 9 y 10 están expresados en unidades de % (% atómico).

(Método de medición de la dureza del revestimiento)

Según el método de ensayo de dureza Vickers (JISG0202, Z2244), el valor HV (dureza Vickers) del revestimiento duro de cada una de las muestras de ensayo 1-50 se midió en las condiciones indicadas por el símbolo de dureza HV0.025.

(Condiciones de la prueba de corte)

Material de la pieza mecanizada: SCM440 (30HRC)
 Velocidad de corte: 100 m/min.
 Velocidad de rotación: 5305 min^{-1}
 Velocidad de avance: 0,18 mm/rev.
 Profundidad del corte: 30 mm (agujero ciego)
 Proporción de avance escalonado: avance no escalonado
 Fluido de corte: fluido de corte soluble en agua

(Método de medición de la anchura de desgaste)

La perforación se repitió hasta que la distancia de corte de los bordes cortantes del extremo distal del taladro alcanzó los 50 m. Luego, cuando la distancia de corte alcanzó los 50 m se midió la anchura real de desgaste del revestimiento en la cara del flanco de la porción del extremo distal del taladro, es decir, la anchura de exposición del sustrato en las porciones adyacentes a los bordes cortantes, utilizando un microscopio estereoscópico con escala. La anchura de desgaste medido se indica en *1 de la fig. 12.

(Método de medición y evaluación de la distancia de corte)

La distancia de corte de los bordes cortantes del extremo distal del taladro se calculó basándose en las condiciones de prueba del corte (velocidad de giro: 5305 min^{-1} , velocidad de avance: 0,18 mm/rev, profundidad del corte: 30 mm) y en el número de agujeros mecanizados (distancia total de corte) hasta que la anchura de desgaste del taladro llegó a 0,2 mm. La distancia de corte calculada se indica en *2 de la fig. 12. Las muestras que dieron una distancia de corte inferior a 50 m se consideraron inaceptables y se indican con la marca "X" en *3 de la fig. 12. Las muestras que dieron

una distancia de corte no inferior a 50 m se consideraron aceptables y se indican con la marca "O" en *3 de la fig. 12.

Como se ve en la fig. 12, la dureza del revestimiento de las muestras de ensayo 7-50 correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención fue de 3190-3540 (HV0.025), superior a 2510 como valor máximo de la dureza del revestimiento de las muestras de ensayo 1-6 de los ejemplos comparativos.

Además, tal como se indica en la fig. 12, las muestras de ensayo 1-6 correspondientes a los ejemplos comparativos se consideraron inaceptables porque la distancia de corte hasta que la anchura de desgaste alcanzó 0,2 mm fue menor que 50 m como el valor mínimo aceptable. En la muestra de ensayo 1, debido a la ausencia de las capas B 36, no se formaron las capas nanométricas interpuestas 40, cada una de las cuales es una capa intercalada formada por capas B y C, 36, 38, y el espesor de la capa intermedia 32 es mayor que 1000 nm. En la muestra de ensayo 2, debido a la ausencia de las capas C 38, no se formaron las capas nanométricas interpuestas 40, cada una de las cuales es una capa intercalada formada por capas B y C, 36, 38, y el espesor T_A de cada capa A 34 es superior a 1000 nm. En la muestra de ensayo 3 no se aplicaron las capas A 34, el espesor T_B de cada una de las capas B 36 y el espesor T_C de cada una de las capas C 38 es superior a 100 nm, el espesor de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 es superior a 1000 nm y el espesor total es mayor que 20 μm . En la muestra de ensayo 4, el espesor T_B de cada una de las capas B 36 es superior a 100 nm, el espesor T_C de cada una de las capas C 38 es inferior a 1 nm, y el espesor de la capa intermedia 32 es superior a 1000 nm. En la muestra de ensayo 5 no se aplicaron las capas A 34, el espesor T_B de cada una de las capas B 36 y el espesor T_C de cada una de las capas C 38 es inferior a 1 nm, el espesor de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 es inferior a 50 nm y el espesor total es menor que 0,5 μm . En la muestra de ensayo 6 el espesor T_A de cada una de las capas A 34 es muy pequeño, inferior a 50 nm, el espesor T_B de cada una de las capas B 36 y el espesor T_C de cada una de las capas C 38 es inferior a 1 nm, el espesor de la capa intermedia 32 es inferior a 50 nm y el espesor total es menor que 0,5 μm .

Sin embargo, las muestras de ensayo 7-50 correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención se consideraron aceptables, porque la distancia de corte cuando la anchura de desgaste alcanzó 0,2 mm no fue menor que 50 m como valor mínimo aceptable. Nótese que con los taladros correspondientes al revestimiento estructurado según las figs. 4-6 se obtuvieron básicamente resultados idénticos a los indicados en la fig. 12. Es decir, los mismos resultados, prácticamente iguales a los mostrados en la fig. 12, se obtuvieron independientemente de la presencia o ausencia de la capa intermedia 32, independientemente de si la capa superior o la capa inferior del revestimiento duro 24 era una capa A 34 o una capa nanométrica interpuesta 40, independientemente de si el número de laminados del revestimiento duro 24 era un número impar o un número par, e independientemente de si el número de laminados de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 era un número impar o un número par.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, la composición de las capas A 34 lleva Al en una proporción del 20-79%, Cr en una proporción del 78-20% y el aditivo α en una proporción del 0-20%, por ejemplo, el cual está constituido por uno o más elementos seleccionados entre V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, tal como se indica en las muestras de ensayo 7 y 13 de la fig. 8. Es decir, la composición preferible de las capas A 34 es un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Al}_{1-w-x}\text{Cr}_w(\text{SiC})_x]\text{N}$, donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20. El espesor T_A preferible de cada una de las capas A 34 es de 50-1000 nm, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 7 y 11 de la fig. 11.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, la composición de las capas B 36 lleva Ti en una proporción del 15-70%, Al en una proporción del 85-30% y el aditivo β en una proporción del 0-10%, por ejemplo, el cual está constituido por al menos un elemento del grupo integrado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, tal como se indica en las muestras de ensayo 7 y 13 de la fig. 9. Es decir, la composición preferible de las capas B 36 es un nitruro de TiAl cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-y}\text{Al}_y]\text{N}$, donde la proporción atómica Y es de 0,30-0,85. El espesor T_B preferible de cada una de las capas B 36 es de 1-100 nm, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 10 y 12 de la fig. 11.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, la composición de las capas C 38 contiene Ti en una proporción del 53-94,5%, SiC en una proporción del 5-45% y el aditivo γ en una proporción del 0-10%, por ejemplo, el cual está constituido por al menos un elemento del grupo integrado por B, C, V, Y, Nb, Mo y W, tal como se indica en las muestras de ensayo 12 y 16 de la fig. 10. Es decir, la composición preferible de las capas C 38 es un nitruro de Ti(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-z}(\text{SiC})_z]\text{N}$, donde la proporción atómica Z es de 0,05-0,45. El espesor T_C preferible de cada una de las capas C 38 es de 1-100 nm, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 10 y 12 de la fig. 11.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, el espesor de cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 es de 50-1000 nm, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 7 y 12 de la fig. 11. Además, la relación T_A/T_{NL} entre el espesor T_A de cada una de las capas A 34 y el espesor T_{NL} de cada una de las capas nanométricas interpuestas es de 0,2-10.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, el espesor de la capa intermedia 32 es de 50-1000 nm, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de

ensayo 7 y 11 de la fig. 11.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, el espesor total (de película) del revestimiento duro 24 es de 0,5-20 μm , por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 19 y 20 de la fig. 11.

En las muestras de ensayo 7-50 resumidas en la fig. 12, correspondientes a las formas de ejecución de la presente invención, el número de repeticiones en cada una de las capas nanométricas interpuestas 40, constituidas por capas B y C, 36, 38, laminadas, es decir, el número de pares de capas laminadas B y C, 36, 38 en cada una de las capas nanométricas interpuestas 40, es de 2-500, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 48 y 12. Además el número de repeticiones en el revestimiento duro 24, formado por capas A 34 laminadas alternadamente con capas nanométricas interpuestas 40, es decir, el número de pares de capas A 34 y de capas nanométricas interpuestas 40 laminadas alternadamente en el revestimiento duro 24 es de 2-199, por ejemplo, tal como se indica en las muestras de ensayo 7 y 12.

La fig. 13 es una representación gráfica de las características del aumento de la anchura de desgaste producido por el aumento de la distancia de corte en las muestras de ensayo 2 y 3 correspondientes a los ejemplos comparativos y en las muestras de ensayo 12, 22, 29, 37, 40 y 44 correspondientes a formas de ejecución de la presente invención, en la prueba de corte descrita anteriormente. La tasa de incremento de la anchura de desgaste en las muestras de ensayo 2 y 3 correspondientes a los ejemplos comparativos es considerablemente alta en comparación con la de las muestras de ensayo 12, 22, 29, 37, 40 y 44 correspondientes a formas de ejecución de la presente invención.

Según la presente forma de ejecución, el revestimiento duro 24 que debe aplicarse sobre la superficie del sustrato de herramienta 30 tiene un espesor total de 0,5-20 μm , y consta de capas A 34 y capas nanométricas interpuestas 40 laminadas alternadamente por deposición física de vapor, de tal manera que cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 consta de capas B 36 y capas C 38 laminadas alternadamente. Cada una de las capas A 34 tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Al}_{1-w-x}\text{Cr}_w(\text{SiC})_x]\text{N}$, donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20. Cada una de las capas B 36 tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiAl cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-y}\text{Al}_y]\text{N}$, donde la proporción atómica Y es de 0,30-0,85. Cada una de las capas C 38 tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de Ti(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-z}(\text{SiC})_z]\text{N}$, donde la proporción atómica Z es de 0,05-0,45. Cada una de las capas nanométricas interpuestas 40 tiene un espesor de 50-1000 nm. Por consiguiente puede obtenerse un taladro 10 que sea resistente al desgaste cuando se use para cortar acero al carbono, hierro fundido o materiales similares, y resistente a la soldadura cuando se use para cortar acero aleado, acero inoxidable o materiales similares.

Según la presente forma de ejecución, la relación T_A/T_{NL} entre el espesor T_A de cada una de las capas A 34 y el espesor T_{NL} de cada una de las capas nanométricas interpuestas es de 0,2-10. Por consiguiente puede obtenerse una herramienta que sea resistente al desgaste cuando se use para cortar acero al carbono, hierro fundido o materiales similares, y resistente a la soldadura cuando se use para cortar acero aleado, acero inoxidable o materiales similares.

Según la presente forma de ejecución, cada una de las capas A 34 contiene el aditivo α , que es al menos un elemento seleccionado del grupo integrado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, en una proporción no superior al 20%. Así se fortalece la solución sólida en cada una de las capas A 34, lo cual permite aumentar la dureza del nitruro de AlCr(SiC) de modo que mejore la resistencia y, al subir la temperatura durante una operación de corte, se forma en la superficie un óxido que proporciona una excelente resistencia al desgaste y preferiblemente un equilibrio entre la resistencia al desgaste y la resistencia a la soldadura, y como resultado prolonga la vida útil del taladro 10.

Según la presente forma de ejecución, cada una de las capas B 36 contiene el aditivo β , que es al menos un elemento seleccionado del grupo integrado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, en una proporción no superior al 10%. Así se fortalece la solución sólida en cada una de las capas B 36, lo cual permite aumentar la dureza del nitruro de TiAl, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste del taladro 10.

Según la presente forma de ejecución, cada una de las capas C 38 contiene el aditivo γ , que es al menos un elemento seleccionado del grupo integrado por B, V, Y, Nb, Mo y W, en una proporción no superior al 10%. Así se fortalece la solución sólida en cada una de las capas C 38, lo cual permite aumentar la dureza del nitruro de Ti(SiC), confiriendo así una excelente resistencia al desgaste del taladro 10. En particular, si el aditivo γ es al menos uno de los elementos V, Nb, Mo y W, al aumentar la temperatura durante una operación de corte se forma un óxido que produce un efecto autolubricante y prolonga por tanto la vida útil del taladro 10.

Según la presente forma de ejecución, el revestimiento duro 24 esquematizado en la fig. 6 está aplicado para recubrir directamente el sustrato de herramienta 30. Por consiguiente no es necesario aplicar una capa intermedia entre el revestimiento duro 24 y el sustrato de herramienta 30, lo cual facilita la producción.

Según la presente forma de ejecución, el revestimiento duro 24 esquematizado en las figs. 3, 4 y 5 está aplicado para recubrir el sustrato de herramienta 30 mediante la capa intermedia 32, que tiene un espesor de 50-1000 nm y consta

ES 2 777 798 T3

básicamente del mismo material que las capas A 34, B 36 o las nanométricas interpuestas 40. Así se puede aumentar todavía más la fuerza de unión entre el revestimiento duro 24 y el sustrato de herramienta 30.

- 5 Según la presente forma de ejecución, el taladro 10 es una herramienta recubierta parcialmente con el revestimiento duro 24, lo cual proporciona resistencia al desgaste cuando el taladro 10 se usa para cortar acero al carbono o hierro fundido y resistencia a la soldadura cuando el taladro 10 se usa para cortar acero aleado o acero inoxidable.

DESCRIPCIÓN DE LOS NÚMEROS DE REFERENCIA

- 10 10: taladro (herramienta o pieza recubierta con el revestimiento duro); 30: sustrato de la herramienta (sustrato); 24: revestimiento duro; 34: capas A, 36: capas B, 38: capas C, 40: capas nanométricas interpuestas.

REIVINDICACIONES

1. Un revestimiento duro (24) que recubre la superficie de un sustrato (30), de manera que dicho revestimiento duro (24) tiene un espesor total de 0,5-20 μm y comprende una capa A (34) y una capa nanométrica interpuesta (40) laminadas alternadamente por deposición física de vapor, donde dicha capa nanométrica interpuesta (40) incluye una capa B (36) y una capa C (38) laminadas alternadamente; dicha capa A (34) tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un nitruro de AlCr(SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Al}_{1-w-x}\text{Cr}_w(\text{SiC})_x]\text{N}$, donde la proporción atómica W es de 0,20-0,80 y la proporción atómica X es de 0,01-0,20, y opcionalmente contiene un aditivo α , que es al menos un elemento seleccionado de un grupo integrado por V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, en una proporción no superior al 20%; dicha capa B (36) tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de TiAl cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-y}\text{Al}_y]\text{N}$, donde la proporción atómica Y es de 0,30-0,85, y opcionalmente contiene un aditivo β , que es al menos un elemento seleccionado de un grupo integrado por B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, en una proporción no superior al 10%; dicha capa C (38) tiene un espesor de 1-100 nm y es de un nitruro de Ti (SiC) cuya composición corresponde a la fórmula $[\text{Ti}_{1-z}(\text{SiC})_z]\text{N}$, donde la proporción atómica Z es de 0,05-0,45, y opcionalmente contiene un aditivo γ , que es al menos un elemento seleccionado de un grupo integrado por B, V, Y, Nb, Mo y W, en una proporción no superior al 10%; y dicha capa nanométrica interpuesta (40) tiene un espesor de 50-1000 nm.
2. El revestimiento duro (24) según la reivindicación 1, en el cual la relación T_A/T_{NL} entre el espesor T_A de dicha capa A 34 y el espesor T_{NL} de dicha capa nanométrica interpuesta es de 0,2-10.
3. El revestimiento duro (24) según la reivindicación 1 o 2, el cual se aplica directamente sobre el sustrato (30).
4. El revestimiento duro (24) según una de las reivindicaciones 1-3, el cual se aplica al sustrato (30) mediante una capa intermedia (32) que tiene un espesor de 50-1000 nm y es de un material básicamente idéntico al de dicha capa A (34), dicha capa B (36) o dicha capa nanométrica interpuesta (40).
5. Una pieza dotada de un revestimiento duro (10), constituida por un sustrato (30) recubierto parcial o totalmente con dicho revestimiento duro (24) según una de las reivindicaciones 1-4.

30

FIG.1

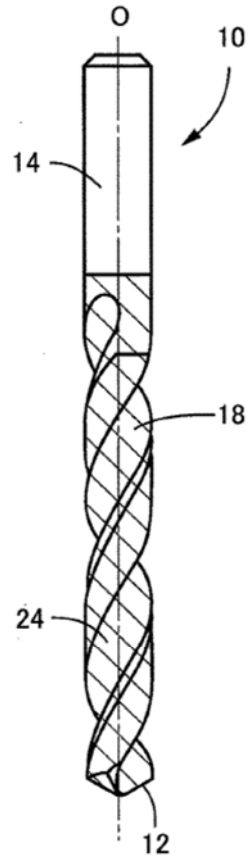


FIG.2

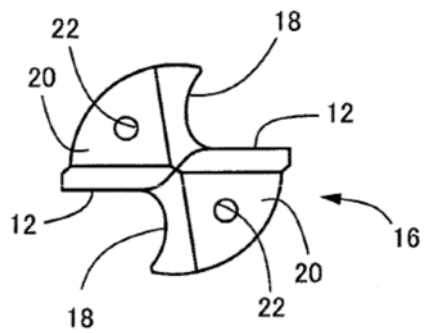


FIG.3

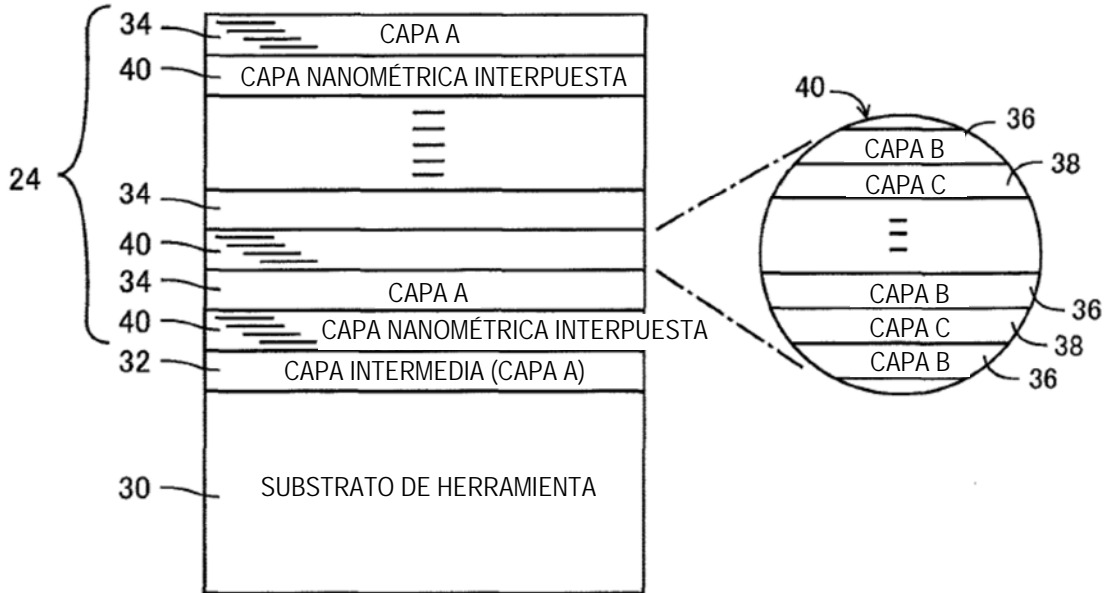


FIG.4

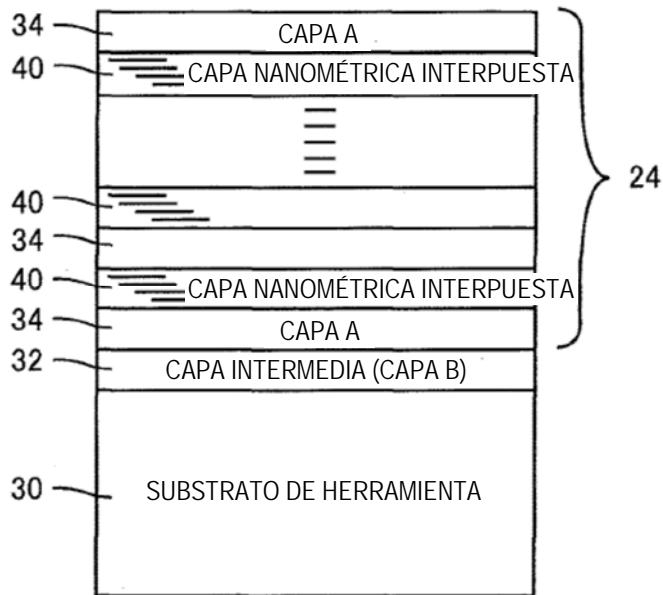


FIG.5

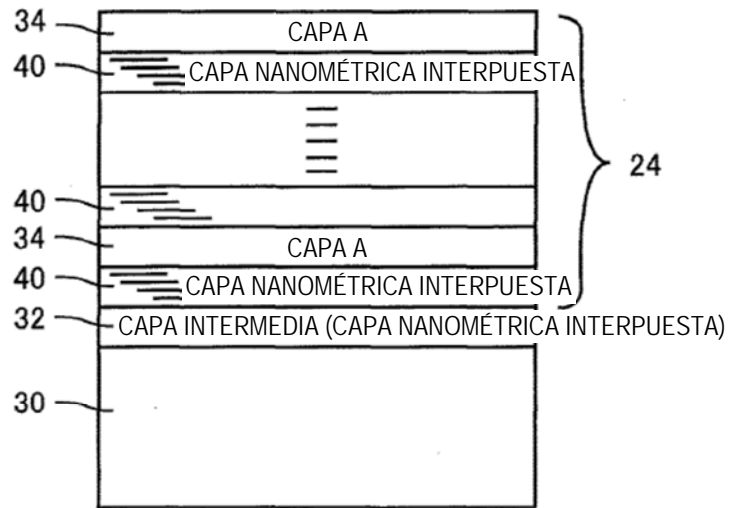


FIG.6

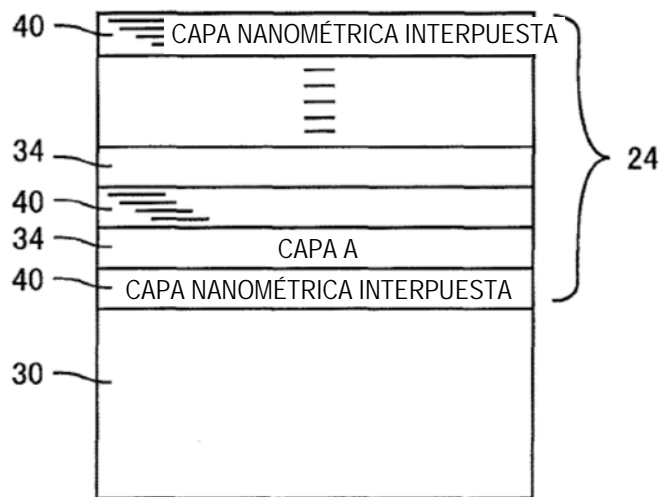


FIG.7

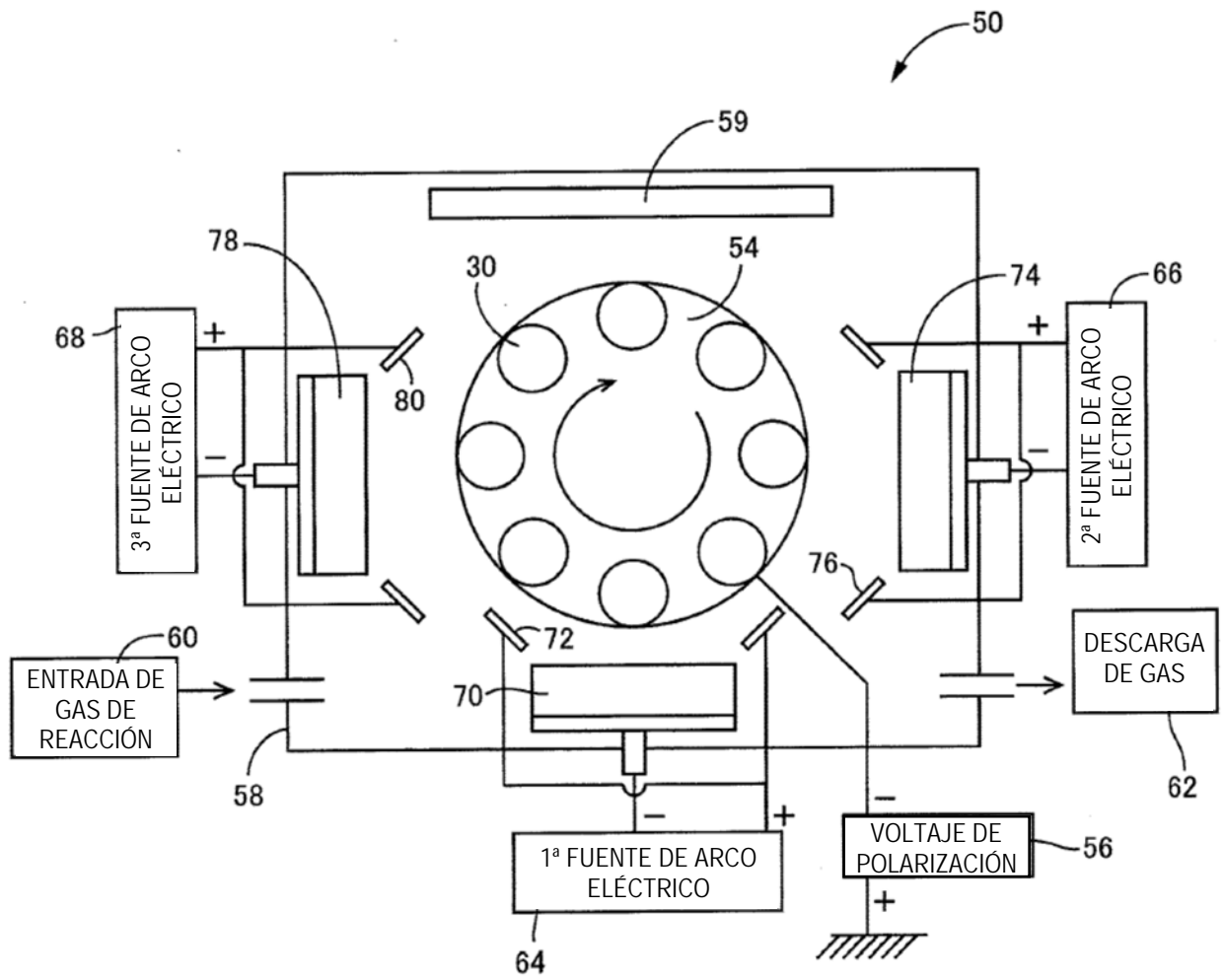


FIG. 8

COMPOSICIÓN	CAPA A (%)									
	Al	Cr	SiC	V	Y	Zr	Nb	Mo	Ta	W
MUESTRA DE ENSAYO 1	75	25								
MUESTRA DE ENSAYO 2	80	20								
MUESTRA DE ENSAYO 3	0	0								
MUESTRA DE ENSAYO 4	100									
MUESTRA DE ENSAYO 5	0	0								
MUESTRA DE ENSAYO 6	0	100								
MUESTRA DE ENSAYO 7	79	20	1							
MUESTRA DE ENSAYO 8	40	40	20							
MUESTRA DE ENSAYO 9	25	70	5							
MUESTRA DE ENSAYO 10	66	30	4							
MUESTRA DE ENSAYO 11	45	50	5							
MUESTRA DE ENSAYO 12	60	33	7							
MUESTRA DE ENSAYO 13	20	78	2							
MUESTRA DE ENSAYO 14	75	23	2							
MUESTRA DE ENSAYO 15	33	50	17							
MUESTRA DE ENSAYO 16	40	50	10							
MUESTRA DE ENSAYO 17	50	49	1							
MUESTRA DE ENSAYO 18	62	20	18							
MUESTRA DE ENSAYO 19	60,5	24,5	15							
MUESTRA DE ENSAYO 20	63,5	30	6,5							
MUESTRA DE ENSAYO 21	66	33,5	0,5							
MUESTRA DE ENSAYO 22	27,5	69	3,5							
MUESTRA DE ENSAYO 23	75	23	1		1					
MUESTRA DE ENSAYO 24	45	52	2		1					
MUESTRA DE ENSAYO 25	20	46	20		19					
MUESTRA DE ENSAYO 26	70	24,5	10			5				
MUESTRA DE ENSAYO 27	58,3	28	10			3,7				
MUESTRA DE ENSAYO 28	25	53,3	2			19,7				
MUESTRA DE ENSAYO 29	50,5	25,2	20	4,3						
MUESTRA DE ENSAYO 30	30,5	55	10	4,5						
MUESTRA DE ENSAYO 31	20	68,5	10	1,5						
MUESTRA DE ENSAYO 32	46,9	50,2	0,5	2,4						
MUESTRA DE ENSAYO 33	75	20	2				3			
MUESTRA DE ENSAYO 34	45,6	35,9	2,5				16			
MUESTRA DE ENSAYO 35	40,9	45	13,2				0,9			
MUESTRA DE ENSAYO 36	60,5	20	16						3,5	
MUESTRA DE ENSAYO 37	30,5	55,6	5,5						8,4	
MUESTRA DE ENSAYO 38	70,5	20	5,5					4		
MUESTRA DE ENSAYO 39	33	60,2	3,5					0,8	2,5	
MUESTRA DE ENSAYO 40	70,5	20	2,5					2	5	
MUESTRA DE ENSAYO 41	65	28	5					2		
MUESTRA DE ENSAYO 42	55	25	10					10		
MUESTRA DE ENSAYO 43	30,5	64,4	2,5	0,5					2,1	
MUESTRA DE ENSAYO 44	60,5	29	3,2	2,5					4,8	
MUESTRA DE ENSAYO 45	30	55,3	2,5	2,5					9,7	
MUESTRA DE ENSAYO 46	50	44,3	5							0,7
MUESTRA DE ENSAYO 47	65	20	10						1,5	3,5
MUESTRA DE ENSAYO 48	70	20	2							3,5
MUESTRA DE ENSAYO 49	30	55,8	6,7						5	2,5
MUESTRA DE ENSAYO 50	65	25	2,4					3	2	5,6

FIG. 9

COMPOSICIÓN	CAPA B (%)											
	Ti	Al	B	C	V	Cr	Zr	Nb	Mo	Hf	Ta	W
MUESTRA DE ENSAYO 1	0	0										
MUESTRA DE ENSAYO 2	70	30										
MUESTRA DE ENSAYO 3	15	85										
MUESTRA DE ENSAYO 4	10	90										
MUESTRA DE ENSAYO 5	80	20										
MUESTRA DE ENSAYO 6	10	90										
MUESTRA DE ENSAYO 7	15	85										
MUESTRA DE ENSAYO 8	25	75										
MUESTRA DE ENSAYO 9	30	70										
MUESTRA DE ENSAYO 10	35	65										
MUESTRA DE ENSAYO 11	50	50										
MUESTRA DE ENSAYO 12	44,5	55,5										
MUESTRA DE ENSAYO 13	70	30										
MUESTRA DE ENSAYO 14	68	32										
MUESTRA DE ENSAYO 15	60	40										
MUESTRA DE ENSAYO 16	25,5	55		9,5		10						
MUESTRA DE ENSAYO 17	15	77		3		5						
MUESTRA DE ENSAYO 18	35	55		2							8	
MUESTRA DE ENSAYO 19	69,5	30				0,5						
MUESTRA DE ENSAYO 20	65	30,4				4,6						
MUESTRA DE ENSAYO 21	15	83,5				1,5						
MUESTRA DE ENSAYO 22	64,5	30	5,5									
MUESTRA DE ENSAYO 23	45	45	10									
MUESTRA DE ENSAYO 24	15	80	5									
MUESTRA DE ENSAYO 25	35	57		8								
MUESTRA DE ENSAYO 26	38,3	55,2		6,5								
MUESTRA DE ENSAYO 27	68,8	30			1,2							
MUESTRA DE ENSAYO 28	68,1	30			1,9							
MUESTRA DE ENSAYO 29	15	82,6			2,4							
MUESTRA DE ENSAYO 30	35	56,3					8,7					
MUESTRA DE ENSAYO 31	41,9	51,1					7					
MUESTRA DE ENSAYO 32	68,4	31,5					0,1					
MUESTRA DE ENSAYO 33	25	67				0,5	7,5					
MUESTRA DE ENSAYO 34	15	80				4,5	0,5					
MUESTRA DE ENSAYO 35	20	70,2						9,8				
MUESTRA DE ENSAYO 36	67,5	30,5						2				
MUESTRA DE ENSAYO 37	42	45				5		8				
MUESTRA DE ENSAYO 38	30	68							2			
MUESTRA DE ENSAYO 39	56	41,3							2,7			
MUESTRA DE ENSAYO 40	39	54,5								6,5		
MUESTRA DE ENSAYO 41	32	62,5									5,5	
MUESTRA DE ENSAYO 42	68,4	30									1,6	
MUESTRA DE ENSAYO 43	36	61									3	
MUESTRA DE ENSAYO 44	40	55,4										4,6
MUESTRA DE ENSAYO 45	60	35										5
MUESTRA DE ENSAYO 46	55	44							0,5		0,5	
MUESTRA DE ENSAYO 47	15	80				2					3	
MUESTRA DE ENSAYO 48	33	59				3,5					3	1,5
MUESTRA DE ENSAYO 49	65	30	0,5	0,5								4
MUESTRA DE ENSAYO 50	64,9	30							3,2		0,5	1,4

FIG. 10

COMPOSICIÓN	CAPA C (%)								
	Ti	SiC	B	C	V	Y	Nb	Mo	W
MUESTRA DE ENSAYO 1	80	20							
MUESTRA DE ENSAYO 2	0	0							
MUESTRA DE ENSAYO 3	55	45							
MUESTRA DE ENSAYO 4	95	5							
MUESTRA DE ENSAYO 5	85	15							
MUESTRA DE ENSAYO 6	55	45							
MUESTRA DE ENSAYO 7	85	15							
MUESTRA DE ENSAYO 8	80	20							
MUESTRA DE ENSAYO 9	60	40							
MUESTRA DE ENSAYO 10	85	15							
MUESTRA DE ENSAYO 11	80	20							
MUESTRA DE ENSAYO 12	53	45				2,0			
MUESTRA DE ENSAYO 13	65	35							
MUESTRA DE ENSAYO 14	55	45							
MUESTRA DE ENSAYO 15	75	25							
MUESTRA DE ENSAYO 16	94,5	5				0,5			
MUESTRA DE ENSAYO 17	85	5				10,0			
MUESTRA DE ENSAYO 18	85	13,5				1,5			
MUESTRA DE ENSAYO 19	90	5,5			4,5				
MUESTRA DE ENSAYO 20	85,3	14,2			0,5				
MUESTRA DE ENSAYO 21	94	5			1				
MUESTRA DE ENSAYO 22	80,2	15,2			4,6				
MUESTRA DE ENSAYO 23	93,5	5,0					1,5		
MUESTRA DE ENSAYO 24	60	35,0					5,0		
MUESTRA DE ENSAYO 25	55	44,5					0,5		
MUESTRA DE ENSAYO 26	85,5	12,5						2,0	
MUESTRA DE ENSAYO 27	80,8	9,2						10,0	
MUESTRA DE ENSAYO 28	72,3	27,5						0,2	
MUESTRA DE ENSAYO 29	55	42			1,5			1,5	
MUESTRA DE ENSAYO 30	85	14							1
MUESTRA DE ENSAYO 31	55	35,0							10
MUESTRA DE ENSAYO 32	79	20,5							0,5
MUESTRA DE ENSAYO 33	66,8	32,5						0,5	0,2
MUESTRA DE ENSAYO 34	55	44,5	0,5						
MUESTRA DE ENSAYO 35	76,4	13,6	10,0						
MUESTRA DE ENSAYO 36	65,8	29,3	4,9						
MUESTRA DE ENSAYO 37	81,2	18,7		0,1					
MUESTRA DE ENSAYO 38	90,5	5,5		4					
MUESTRA DE ENSAYO 39	89,5	5		2					3,5
MUESTRA DE ENSAYO 40	56,5	40		3					0,5
MUESTRA DE ENSAYO 41	80	12,5		5	2,5				
MUESTRA DE ENSAYO 42	55,2	33,5		4,8				6,5	
MUESTRA DE ENSAYO 43	89,9	5		5,1					
MUESTRA DE ENSAYO 44	56	42,9		1,1					
MUESTRA DE ENSAYO 45	80,6	9,5		9,9					
MUESTRA DE ENSAYO 46	55	40,3		0,7		0,5			3,5
MUESTRA DE ENSAYO 47	70	28,9	0,8	0,3					
MUESTRA DE ENSAYO 48	80	15,4						4,6	
MUESTRA DE ENSAYO 49	91	5,5			0,32	1,5		1,7	
MUESTRA DE ENSAYO 50	65,1	23,4			2,4	3,5	5,6		

FIG. 11

COMPOSICIÓN	ESPESOR DE PELÍCULA							ESPESOR TOTAL (µm)
	CAPA A (nm)	CAPA B (nm)	CAPA C (nm)	Nº PARES DE CAPAS B Y C LAMINADAS	NANOCAPA INTERPUESTA (nm)	CAPA INTERMEDIA (nm)	Nº PARES DE CAPA A Y NANOCAPA INTERPUESTA LAMINADAS	
MUESTRA DE ENSAYO 1	50	0	15	20	300	1300	8	4,1
MUESTRA DE ENSAYO 2	2000	1000	0	300	300	30	4	9,2
MUESTRA DE ENSAYO 3	0	200	300	3000	1500	40	16	23,7
MUESTRA DE ENSAYO 4	80	1200	0,5	200	240	1200	15	6,0
MUESTRA DE ENSAYO 5	0	0,5	0,6	500	0,6	40	250	0,2
MUESTRA DE ENSAYO 6	40	0,3	0,4	100	70	10	3	0,3
MUESTRA DE ENSAYO 7	50	2	3	10	50	50	199	20,0
MUESTRA DE ENSAYO 8	400	5	5	20	200	100	12	7,3
MUESTRA DE ENSAYO 9	600	10	5	28	420	200	16	16,5
MUESTRA DE ENSAYO 10	400	100	100	4	800	500	11	13,7
MUESTRA DE ENSAYO 11	1000	5	1	166	996	100	3	7,0
MUESTRA DE ENSAYO 12	1000	1	1	500	1000	200	2	3,8
MUESTRA DE ENSAYO 13	550	7	2	9	81	90	25	15,9
MUESTRA DE ENSAYO 14	850	10	5	7	105	1000	5	5,8
MUESTRA DE ENSAYO 15	350	15	15	10	300	500	12	8,3
MUESTRA DE ENSAYO 16	200	20	5	2	50	200	44	11,2
MUESTRA DE ENSAYO 17	200	5	12	6	102	50	35	10,6
MUESTRA DE ENSAYO 18	250	4	2	9	54	60	15	4,6
MUESTRA DE ENSAYO 19	50	1	1	25	50	70	4	0,5
MUESTRA DE ENSAYO 20	415	11	15	32	832	50	16	20,0
MUESTRA DE ENSAYO 21	600	3	2	10	50	100	15	9,9
MUESTRA DE ENSAYO 22	1000	30	10	3	120	200	3	3,6
MUESTRA DE ENSAYO 23	980	40	10	4	200	300	3	3,8
MUESTRA DE ENSAYO 24	450	50	5	8	440	500	2	2,3
MUESTRA DE ENSAYO 25	950	100	20	6	720	200	2	3,5
MUESTRA DE ENSAYO 26	990	50	50	10	1000	200	2	4,6
MUESTRA DE ENSAYO 27	1000	15	80	9	855	350	2	3,7
MUESTRA DE ENSAYO 28	820	1	99	10	1000	400	2	3,9
MUESTRA DE ENSAYO 29	1000	6	50	17	952	550	2	4,3
MUESTRA DE ENSAYO 30	990	12	30	15	630	53	5	8,2
MUESTRA DE ENSAYO 31	870	24	60	11	924	50	7	12,6
MUESTRA DE ENSAYO 32	940	30	10	10	400	200	6	8,2
MUESTRA DE ENSAYO 33	920	30	30	15	900	350	3	5,8
MUESTRA DE ENSAYO 34	850	50	15	12	780	450	4	7,0
MUESTRA DE ENSAYO 35	750	100	50	3	450	950	2	3,2
MUESTRA DE ENSAYO 36	50	1	1	25	50	60	4	0,5
MUESTRA DE ENSAYO 37	500	2	3	70	350	250	12	10,5
MUESTRA DE ENSAYO 38	450	5	5	30	300	50	6	4,6
MUESTRA DE ENSAYO 39	810	6	4	28	280	1000	9	10,8
MUESTRA DE ENSAYO 40	480	7	3	30	300	50	8	6,3
MUESTRA DE ENSAYO 41	400	10	15	20	500	85	5	4,6
MUESTRA DE ENSAYO 42	400	2	2	60	240	400	7	4,9
MUESTRA DE ENSAYO 43	400	2	6	45	360	150	10	7,8
MUESTRA DE ENSAYO 44	400	4	8	40	480	100	8	7,1
MUESTRA DE ENSAYO 45	1000	8	12	45	900	200	3	5,9
MUESTRA DE ENSAYO 46	50	15	5	32	640	50	28	19,4
MUESTRA DE ENSAYO 47	350	3	3	25	150	110	19	9,6
MUESTRA DE ENSAYO 48	500	50	100	2	300	450	15	12,5
MUESTRA DE ENSAYO 49	1000	100	5	5	525	500	4	6,6
MUESTRA DE ENSAYO 50	800	30	15	6	270	1000	3	4,2

FIG. 12

COMPOSICIÓN	DUREZA DEL REVESTIMIENTO (HV0.025)	ANCHURA DE DESGASTE (mm) *1	DISTANCIA DE CORTE (m) *2	VALORACIÓN *3	OBSERVACIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 1	2310	0,455	19,9	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 2	2010	0,365	25,4	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 3	2230	0,455	74,5	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 4	2020	0,335	40,9	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 5	2510	0,350	35,4	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 6	2230	0,441	30,9	X	EJEMPLO COMPATIVO
MUESTRA DE ENSAYO 7	3190	0,145	85,5	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 8	3320	0,149	134,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 9	3270	0,133	125,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 10	3340	0,187	133,8	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 11	3510	0,147	125	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 12	3340	0,179	165,8	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 13	3540	0,124	148,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 14	3200	0,189	150	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 15	3300	0,088	150,1	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 16	3370	0,193	135,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 17	3450	0,088	149,5	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 18	3200	0,119	133,5	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 19	3400	0,134	153,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 20	3260	0,194	155,8	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 21	3200	0,144	135,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 22	3400	0,183	189,1	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 23	3390	0,142	100,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 24	3250	0,049	134,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 25	3310	0,122	155,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 26	3490	0,158	156,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 27	3300	0,199	135,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 28	3350	0,196	155,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 29	3200	0,200	180	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 30	3340	0,135	139,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 31	3370	0,099	130,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 32	3290	0,145	119,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 33	3310	0,199	126,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 34	3300	0,184	120,5	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 35	3400	0,155	135,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 36	3340	0,097	199,2	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 37	3380	0,194	149,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 38	3420	0,125	120,6	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 39	3540	0,122	119,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 40	3480	0,190	122,7	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 41	3400	0,199	134,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 42	3480	0,093	144,5	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 43	3300	0,197	119,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 44	3310	0,195	185	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 45	3260	0,199	156,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 46	3310	0,189	151,3	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 47	3510	0,194	149,9	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 48	3340	0,147	144,2	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 49	3490	0,135	139,4	O	FORMA DE EJECUCIÓN
MUESTRA DE ENSAYO 50	3410	0,145	149,6	O	FORMA DE EJECUCIÓN

FIG.13

