

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 777 776**

51 Int. Cl.:

C23C 14/06 (2006.01)
B23B 27/14 (2006.01)
B23B 51/00 (2006.01)
B23C 5/16 (2006.01)
C23C 28/00 (2006.01)
C23C 28/04 (2006.01)
C23C 14/02 (2006.01)
C23C 14/32 (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/JP2015/075270**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **09.03.2017 WO17037955**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **04.09.2015 E 15903074 (1)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.01.2020 EP 3346021**

54 Título: **Recubrimiento duro y miembro cubierto con recubrimiento 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;
WANG MEI y
SUGITA HIROAKI

74 Agente/Representante:
ISERN JARA, Jorge

ES 2 777 776 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 duro y miembro cubierto con recubrimiento duro

5 Campo técnico

La presente invención se refiere a un miembro cubierto con recubrimiento duro que tiene una excelente resistencia al calor y una excelente resistencia a la soldadura, y más particularmente a tal un miembro cubierto con recubrimiento duro de excelente resistencia al calor y resistencia a la soldadura e incluye una capa A de nitruro de AlCr y una capa con alternancia de nanocapa que está laminada alternativamente, en donde la capa con alternancia de nanocapa incluye una capa B de nitruro de TiAl que tiene un grosor de nano orden y una capa C de nitruro de TiSi que tiene un grosor de nano orden que está laminada alternativamente.

10

Antecedentes de la técnica

15

Con respecto a diversas herramientas de mecanizado, tales como una herramienta de corte (por ejemplo, taladro, fresa de extremo, cortador de fresado, cortador de torno), una herramienta que no corta (por ejemplo, grifo de conformado, herramienta de laminación, matriz de prensa) y también diversos miembros de la herramienta, tales como parte de la fricción que requiere resistencia al desgaste, se propone una técnica para cubrir una superficie de un sustrato hecho de carburo cementado o acero para herramientas de alta velocidad, con un recubrimiento duro, para mejorar la resistencia al desgaste y la durabilidad.

20

Por otro lado, en cada uno del documento 1 de patente y del documento 1 no de patente, se sugiere un taladro con un recubrimiento duro del sistema TiAlN/sistema TiCrN. En el Documento 2 de patente, se sugiere un taladro con un recubrimiento duro constituido por una estructura multicapa del sistema AlCrN y el sistema TiSiN. Los documentos EP2979788 A1 y EP2149624 A1 describen recubrimientos duros hechos de películas multicapa y los miembros recubiertos correspondientes; herramientas de corte y taladros.

25

Documento de la técnica anterior

30

Documentos de patentes

[Documento 1 de patente] WO2013/000557

35

[Documento 2 de patente] JP2008-534297A

Documentos no de patente

[Documento 1 no de patente] "Mechanical properties and failure models of TiAl(Si)N single and multilayer thin films" (autores: O.Durdnd-Drouhin, A.E.Santana, A.Karimi, V.H.Derflinger, A.Schutze) en las páginas 260-266 de "Surface and Coatings Technology" (Switzerland) Volúmenes 163-164, publicado por Elsevier Science en 2003

40

Divulgación de la invención

45

Objeto a alcanzar por la invención

Sin embargo, el taladro descrito en cada uno de los documentos 1 de patente y documentos 1 no de patentes tenía el problema de que el taladro no proporciona suficiente resistencia al desgaste cuando se usa para taladrar acero al carbono o hierro fundido. El taladro descrito en el documento 2 de patente tenía el problema de que el taladro no presenta un rendimiento suficiente cuando se usa para taladrar acero aleado o acero inoxidable, ya que el taladro no proporciona suficiente resistencia a la soldadura.

50

La presente invención se realizó en vista de los antecedentes discutidos anteriormente. Por lo tanto, un objeto de la presente invención es proporcionar una herramienta cubierta con recubrimiento duro que proporcione resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similares, y que proporcione resistencia a la soldadura cuando se use para cortar acero aleado, acero inoxidable o similar.

55

Diversos estudios realizados por los inventores de la presente invención en la situación descrita anteriormente revelaron el hecho de que una herramienta con un recubrimiento duro proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono o hierro fundido y proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para corte de acero aleado o acero inoxidable, en donde el recubrimiento duro incluye una capa A hecha de nitruro de AlCr y una capa con alternancia de nanocapa está dispuesta alternativamente para tener un grosor total no mayor de 20 µm, y en donde la capa con alternancia de nanocapa incluye una capa B hecha de nitruro de TiAl y una capa C hecha de nitruro de TiSi. La presente invención se realizó con base en el hecho revelado.

60

65

Medidas para lograr el objeto

El objetivo se logra mediante las enseñanzas técnicas definidas en las reivindicaciones 1 a 5.

Efecto de la invención

5 De acuerdo con la invención, el recubrimiento duro, que debe recubrirse sobre la superficie del sustrato, tiene un grosor total de 0,5-20 μm e incluye la capa A y la capa con alternancia de nanocapa que se laminan alternativamente por deposición física de vapor, en donde la capa con alternancia de nanocapa incluye la capa B y la capa C que se laminan alternativamente. La capa A tiene un grosor de 50-1000 nm y es nitruro de AlCr que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-U}\text{Cr}_U]\text{N}$ en donde la relación U atómica es 0,20-0,80. La capa B tiene un grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiAl que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-W}\text{Al}_W]\text{N}$ en donde la relación W atómica es 0,30-0,85. La capa C tiene el grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiSi que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-Y}\text{Si}_Y]\text{N}$ en donde la relación Y atómica es 0,05-0,45. La capa con alternancia de nanocapa tiene un grosor de 50-1000 nm. Por lo tanto, los granos de cristal de cada capa se refinan, con lo que se mejora la resistencia del recubrimiento y se proporciona una excelente resistencia a la oxidación, alta dureza y alta tenacidad. Además, la construcción de la laminación alternativa de la capa A y la capa con alternancia de nanocapa previene el progreso de la grieta, por lo que se mejora la resistencia al desgaste y la resistencia al astillado. En consecuencia, es posible obtener una herramienta que proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similares, y que proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para cortar acero aleado, acero inoxidable o similares.

De acuerdo con la invención, la capa A puede contener opcionalmente el aditivo α que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en Si, V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, de modo que la relación de contenido de el aditivo α no es mayor que 20% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en la capa A, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de AlCr, de modo que se aumenta la resistencia y se forma un óxido en la superficie al aumentar la temperatura durante una operación de corte, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste y un equilibrio preferible entre la resistencia al desgaste y la resistencia a la soldadura, lo que da como resultado una larga vida útil de la herramienta.

De acuerdo con la invención, la capa B puede contener opcionalmente el aditivo β que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que La relación de contenido del aditivo β no es mayor que 10% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en la capa B, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de TiAl, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste.

De acuerdo con la invención, la capa C puede contener opcionalmente el aditivo γ que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en B, C, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la relación de contenido del aditivo γ no es mayor que 10% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en la capa C, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de TiSi, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste. Particularmente, cuando el aditivo γ es al menos uno de V, Nb, Mo y W, se forma un óxido por el aumento de la temperatura durante una operación de corte, lo que proporciona una función autolubrificante y, en consecuencia, aumenta la vida útil de la herramienta.

De acuerdo con una realización, la relación T_A/T_{NL} del grosor T_A de la capa A al grosor T_{NL} de la capa con alternancia de nanocapa es de 0,2-10. Por lo tanto, es posible obtener una herramienta que proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similares, y que proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para cortar acero aleado, acero inoxidable o similares.

De acuerdo con una realización, el recubrimiento duro está dispuesto para cubrir directamente el sustrato. Por lo tanto, no es necesario disponer una capa de interfaz entre el recubrimiento duro y el sustrato, por lo que la producción se puede realizar fácilmente.

De acuerdo con una realización de la invención, el recubrimiento duro está dispuesto para cubrir el sustrato a través de la capa de interfaz, y la capa de interfaz tiene el grosor de 50-1000 nm, y está hecha de material sustancialmente igual al material de la capa A, la capa B, la capa C o la capa con alternancia de nanocapa. Por lo tanto, es posible aumentar adicionalmente la fuerza de unión entre el recubrimiento duro y el sustrato.

De acuerdo con otra realización, en la herramienta cubierta con recubrimiento duro, el sustrato está cubierto parcial o totalmente con el recubrimiento duro de acuerdo con una cualquiera de las realizaciones primera a cuarta. Por lo tanto, es posible obtener una herramienta que proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono o hierro fundido, y que proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para cortar acero aleado o acero inoxidable.

Preferentemente, la herramienta cubierta con recubrimiento duro descrita anteriormente se usa como una herramienta de corte rotativa, tal como un taladro y un cortador de fresado, un cortador no rotativo, tal como un cortador de torno, una herramienta que no corta, tal como un grifo de conformado, una herramienta de laminación y matriz de prensa, y cualquiera de los otros diversos tipos de herramientas de mecanizado. Sin embargo, la herramienta cubierta con

recubrimiento duro descrita anteriormente no necesariamente tiene que usarse como tal una herramienta de mecanizado, sino que puede usarse como cualquiera de diversos tipos de miembros cubiertos con recubrimiento duro resistentes al desgaste, tal como el miembro de soporte, que requiere resistencia al desgaste y resistencia a la oxidación.

5 Además, preferiblemente, el recubrimiento duro de la presente invención se forma mediante un enchapado de iones de arco, un método PVD tal como deposición y pulverización asistida por haz de iones, y otra deposición física de vapor.

10 Además, el carburo cementado o el acero para herramientas de alta velocidad se usa preferiblemente como el sustrato que se cubrirá con el recubrimiento duro de la presente invención. Sin embargo, cualquiera de los otros materiales de herramientas tales como cermet, cerámica, diamante policristalino y CBN policristalino se pueden usar como sustrato.

Breve descripción de los dibujos.

15 La figura 1 es una vista frontal que muestra un taladro provisto de un recubrimiento duro de acuerdo con una realización de la presente invención.

20 La figura 2 es una vista inferior ampliada como se ve desde un lado de un extremo distal del taladro de la figura 1, para explicar una construcción del taladro.

La figura 3 es una vista esquemática para explicar un ejemplo de estructura laminada del recubrimiento duro que se proporciona para cubrir el taladro de la figura 1.

25 La figura 4 es una vista esquemática para explicar otro ejemplo de estructura laminada del recubrimiento duro que se proporciona para cubrir el taladro de la figura 1.

La figura 5 es una vista esquemática para explicar otro ejemplo más de estructura laminada del recubrimiento duro que se proporciona para cubrir el taladro de la figura 1.

30 La figura 6 es una vista esquemática para explicar otro ejemplo de estructura laminada del recubrimiento duro que se proporciona para cubrir el taladro de la figura 1.

35 La figura 7 es una vista esquemática para explicar un aparato de enchapado de iones de arco como un ejemplo de un aparato de deposición física de vapor para formar el recubrimiento duro de la figura 1 en un sustrato de herramienta.

40 La figura 8 es una tabla que muestra los tipos de elementos constitutivos de nitruro de AlCr que constituyen las capas A y una relación de cada uno de los elementos constituyentes en las muestras 1-50 de prueba, que son diferentes en tipos de elementos constituyentes y una relación de cada uno de los elementos constitutivos, tipos y relaciones de composición de aditivo y grosor de cada una de las capas A, B y C que constituyen el recubrimiento duro.

45 La figura 9 es una tabla que muestra tipos de elementos constituyentes y una relación de cada uno de los elementos constituyentes del nitruro de TiAl que constituye las capas B en las muestras 1-50 de prueba mostradas en la figura 8.

La figura 10 es una tabla que muestra tipos de elementos constituyentes y una relación de cada uno de los elementos constituyentes del nitruro de TiSi que constituye las capas C en las muestras 1-50 de prueba mostradas en la figura 8.

50 La figura 11 es una tabla que muestra el grosor de cada una de las capas A, capas B y capas C, un número de pares de capas B laminadas y capas C, un grosor de cada una de las capas con alternancia de nanocapa, un grosor de una capa de interfaz, un número de pares de capas A laminadas y capas con alternancia de nanocapa, y un grosor total del recubrimiento duro en las muestras 1-50 de prueba mostradas en la figura 8.

55 La figura 12 es una tabla que muestra una dureza de recubrimiento, un ancho de desgaste, una distancia de corte y un resultado de juicio en las muestras 1-50 de prueba mostradas en la figura 8.

60 La figura 13 es una vista que muestra características de aumento del ancho de desgaste, que fue causada por el aumento de la distancia de corte en las muestras 1, 5, 15, 19, 20, 41 y 27 de prueba de las muestras 1-50 de prueba mostradas en la figura 8)

Modos para llevar a cabo la invención.

65 Un recubrimiento duro como una realización de la presente invención se describirá ahora en detalle con referencia a los dibujos.

Realización

Las figuras 1 y 2 son vistas que muestran un taladro 10 como ejemplo de una herramienta cubierta con recubrimiento duro o un miembro cubierto con recubrimiento duro, que está cubierto con un recubrimiento 24 duro de la presente invención. La figura 1 es la vista frontal como se ve en una dirección perpendicular a un eje O del taladro 10. La figura 2 es una vista inferior ampliada como se ve desde un lado de un extremo distal del taladro 10 en el que se proporcionan bordes 12 de corte. Este taladro 10 es un taladro de torsión con dos canales e incluye un vástago 14 y un cuerpo 16 que son axialmente contiguos entre sí y que están formados integralmente entre sí. El cuerpo 16 tiene un par de canales 18, cada uno de los cuales está formado en el cuerpo 16 para ser girado alrededor del eje O en el sentido horario. El par de bordes 12 de corte están provistos por extremos axialmente distales de los respectivos canales 18. El taladro 10 se debe girar en el sentido horario como se ve desde un lado del vástago 14, de modo que los bordes 12 de corte corten una pieza de trabajo mediante el cual se forma un orificio en la pieza de trabajo, mientras que las virutas producidas como resultado del corte de la pieza de trabajo se evacúan del orificio hacia el vástago 14 a través de los canales 18.

Se proporciona un par de orificios 22 de salida de fluido de corte para extenderse longitudinalmente a través de una cara extrema del vástago 14 a través del vástago 14 y el cuerpo 16, y se abren en las respectivas caras 20 de flanco que son contiguas a los respectivos bordes 12 de corte en un extremo distal del cuerpo 16. En la figura 1, un área sombreada indica una porción recubierta que está cubierta con un recubrimiento duro en forma de recubrimiento 24 duro. En la presente realización, el taladro 10 está cubierto en el cuerpo 16 como su parte con el recubrimiento 24 duro. Sin embargo, el taladro 10 puede cubrirse en su totalidad con el recubrimiento 24 duro.

La figura 3 es una vista esquemática que muestra, en ampliación, una sección transversal del recubrimiento 24 duro del taladro 10. Como se muestra en la figura 3, el recubrimiento 24 duro está dispuesto sobre un sustrato 30 de herramienta hecho, por ejemplo, de carburo cementado, a través de una capa 32 de interfaz que se forma por deposición física de vapor para tener un grosor de aproximadamente 50-1000 nm. El recubrimiento 24 duro está formado por deposición física de vapor, y está constituido por capas 34 A y capas 40 con alternancia de nanocapa como áreas de múltiples capas. Cada una de las capas 34 A está formada para tener un grosor de 50-1000 nm. Cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa está constituida por capas 36 B, cada una con un grosor de 1-100 nm y capas 38 C, cada una con un grosor de 1-100 nm. Las capas 36 B y las capas 38 C están laminadas alternativamente de modo que cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa tiene un grosor de 50~1000 nm. Las capas 34 A y las capas 40 con alternancia de nanocapa se laminan alternativamente de modo que el recubrimiento 24 duro tenga un grosor total de 0,5-20 μm .

Cada una de las capas 34 A tiene un grosor de 50-1000 nm y está hecha de nitruro de AlCr que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-u}\text{Cr}_u]\text{N}$ en donde una relación U atómica es 0,20-0,80. El nitruro de AlCr contiene aditivo α que está constituido por al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo que consiste en Si, V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, de modo que la relación de contenido del aditivo α no es mayor de 20% atómico. Es decir, cada una de las capas 34 A es nitruro de AlCr que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-u-c}\text{Cr}_u\alpha_v]\text{N}$ en donde la relación U atómica es 0,20-0,80 y una relación V atómica es 0-0,20. El aditivo α se caracteriza por causar un fortalecimiento de la solución sólida mediante el cual aumenta la dureza del nitruro de AlCr, y aumenta la resistencia del nitruro de AlCr y se forma un óxido en la superficie del nitruro de AlCr al aumentar la temperatura durante una operación de corte, lo que aumenta la resistencia al desgaste.

Cada una de las capas 36 B tiene el grosor de 1-100 nm y está hecha de nitruro de TiAl que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-w}\text{Al}_w]\text{N}$ en donde una relación W atómica es 0,30-0,85. El nitruro de TiAl contiene aditivo β que está constituido por al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo que consiste en B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que la relación de contenido del aditivo β no es mayor que 10% atómico. Es decir, cada una de las capas 36 B es nitruro de TiAl que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-w-x}\text{Al}_w\beta_x]\text{N}$ en donde la relación W atómica es 0,45-0,85 y una relación X atómica es 0-0,10. El aditivo β se caracteriza por causar un fortalecimiento de la solución sólida, por lo que la dureza del nitruro de TiAl aumenta, contribuyendo así al aumento de la resistencia al desgaste.

Cada una de las capas 38 C tiene un grosor de 1-100 nm y está hecha de nitruro de TiSi que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-y}\text{Si}_y]\text{N}$ en donde una relación Y atómica es 0,05-0,45. El nitruro de TiSi contiene el aditivo γ que está constituido por al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo que consiste en B, C, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la relación de contenido del aditivo γ no sea mayor que 10% atómico. Es decir, cada una de las capas 38 C es nitruro de TiSi que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-y-z}\text{Si}_y\gamma_z]\text{N}$ en donde la relación Y atómica es 0,05~0,45 y una relación atómica Z es 0-0,10. El aditivo γ se caracteriza por causar un fortalecimiento de la solución sólida mediante el cual aumenta la dureza del nitruro de TiSi, contribuyendo así al aumento de la resistencia al desgaste. Además, entre los aditivos γ , V, Nb, Mo y W, se forma un óxido al aumentar la temperatura durante una operación de corte, lo que proporciona una función autolubrificante y, por lo tanto, contribuye a aumentar la vida útil de la herramienta.

La capa 32 de interfaz está formada por una deposición física de vapor similar a la deposición física de vapor por la cual se forma el recubrimiento 24 duro, para tener un grosor de 50-1000 nm. La capa 32 de interfaz puede estar hecha

del nitruro de AlCr que constituye las capas 34 A, el nitruro de TiAl que constituye las capas 36 B, el nitruro de TiSi que constituye las capas 38 C, o el material (nitruro de TiAl/nitruro de TiSi) de la estructura laminada de nanocapa sustancialmente igual que las capas 40 con alternancia de nanocapa. La figura 3 muestra un ejemplo donde la capa 32 de interfaz está hecha de material sustancialmente igual que las capas 34 A, es decir, está hecha de nitruro de AlCr. En cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa, un número de laminación de las capas 36, 38, B y C puede ser un número par o un número impar que no sea menor que 3. Además, en cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa, una capa más superior o una capa más inferior puede ser la capa 36 B o la capa 38 C. En el recubrimiento 24 duro, un número de laminación de las capas 34 A, 40 con alternancia de nanocapa puede ser un número par o un número impar que no es menor que 3. Además, en el recubrimiento 24 duro, una capa más superior o una capa más inferior puede ser la capa 34 A o la capa 40 con alternancia de nanocapa.

Las figuras 4, 5 y 6 muestran construcciones de otros ejemplos respectivos del recubrimiento 24 duro. El recubrimiento 24 duro de la figura 4 es diferente de la figura 3 en que el número de laminación de las capas 34 y 40 A con alternancia de nanocapa es un número impar, en que el número de laminación de las capas 36, 38, B y C en cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es un número impar; y en que la capa 32 de interfaz está hecha de nitruro de TiAl que es sustancialmente el mismo que el material de las capas 36 B. El recubrimiento 24 duro de la figura 5 es diferente de la figura 3 porque la capa 32 de interfaz dispuesta entre el sustrato 30 de herramienta y el recubrimiento 24 duro está hecha de material (nitruro de TiAl/nitruro de TiSi) de estructura laminada de nanocapa sustancialmente igual al material de las capas 40 con alternancia de nanocapa. El recubrimiento 24 duro de la figura 6 es diferente de la figura 3 porque la capa más superior del recubrimiento 24 duro está constituida por la capa 40 con alternancia de nanocapa, y porque el recubrimiento 24 duro está dispuesto directamente sobre el sustrato 30 de la herramienta sin la capa 32 de interfaz.

La figura 7 es una vista de construcción esquemática (vista esquemática) de la explicación de un aparato 50 de enchapado de iones de arco que se usa para fabricar el taladro 10. El aparato 50 de enchapado de iones de arco se opera para formar la capa 32 de interfaz, las capas 34 A, las capas 36 B y las capas 38 C por un enchapado de iones de arco como un tipo de deposición física de vapor de modo que estas capas 32, 34, 36, 38 se depositen sobre el sustrato 30 de herramienta que tiene una forma sustancialmente igual al taladro 10 mostrado en las figuras 1 y 2.

El aparato 50 de enchapado de iones de arco incluye; por ejemplo, una mesa 54 giratoria que se acciona para que gire alrededor de un eje de rotación que se extiende sustancialmente en una dirección vertical y para sostener una pluralidad de piezas de trabajo, es decir, la pluralidad de sustratos 30 de herramienta, cada uno de los cuales aún no está cubierto con el recubrimiento 24 duro y tiene los bordes 12 de corte y los canales 18 ya formados en el mismo; una fuente 56 de potencia de voltaje de polarización para aplicar un voltaje de polarización negativa a los sustratos 30 de herramienta; un recipiente de procesamiento en forma de una cámara 58 que aloja allí los sustratos 30 de herramienta; un calentador 59 provisto en la cámara 58; un dispositivo 60 de suministro de gas de reacción para suministrar un gas de reacción a la cámara 58; un dispositivo 62 de descarga de gas para descargar un gas desde un interior de la cámara 58 mediante, por ejemplo, una bomba de vacío para reducir una presión en el interior de la cámara 58; una primera fuente 64 de potencia de arco; una segunda fuente 66 de potencia de arco y una tercera fuente 68 de potencia de arco. La mesa 54 giratoria es una mesa de forma cilíndrica o en forma de prisma poligonal cuyo centro corresponde al eje de rotación descrito anteriormente. La pluralidad de sustratos 30 de herramienta se mantienen en una porción periférica exterior de la mesa 54 giratoria de modo que cada uno de los sustratos 30 de herramienta tiene una actitud que hace que su extremo distal sobresalga hacia arriba. El dispositivo 60 de suministro de gas de reacción está equipado con un tanque en el que se almacena gas argón (Ar) y también un tanque en el que se almacena gas nitrógeno, para suministrar el gas nitrógeno cuando la capa 32 de interfaz, las capas 34 A, las capas 36 B y las capas 38 C se forman.

Cada una de la primera fuente 64 de potencia de arco; la segunda fuente 66 de potencia de arco y la tercera fuente 68 de potencia de arco están configuradas para energizar selectivamente entre uno correspondiente de los ánodos 72, 76, 80 y uno correspondiente de cátodos en la forma de primera fuente 70 de evaporación, segunda fuente 74 de evaporación y tercera fuente 78 de evaporación que están hechos de material de deposición de vapor, con una corriente de arco, lo que provoca que el material de evaporación se evapore selectivamente de la una correspondiente de la primera fuente 70 de evaporación, la segunda fuente 74 de evaporación y la tercera fuente 78 de evaporación. Después de haber sido evaporado, el material de evaporación se convierte en ion positivo que se deposita para cubrir el sustrato 30 de herramienta al que se aplica voltaje de polarización negativo (-). Se establece de manera que la primera fuente 64 de potencia de arco, la segunda fuente 66 de potencia de arco y la tercera fuente 68 de potencia de arco se seleccionen para evaporar una composición prescrita para obtener cada una de las capas 32 de interfaz, capas 34 A, capas 36 B y capas 38 C. Se determina la corriente de arco y el voltaje de polarización. Además, se determina una condición de formación de recubrimiento tal como temperatura de 400-550°C y grado de vacío de 2-10Pa. El grosor de cada una de las capas 32 de interfaz, capas 34 A, capas 36 B y capas 38 C se ajusta controlando un período de tiempo para la formación del recubrimiento.

Por ejemplo, la primera fuente 70 de evaporación está constituida por nitruro de AlCr que está representado por una fórmula de composición de $[Al_{1-U}Cr_U]N$ en donde una relación U atómica es 0,20-0,80 de modo que el nitruro de AlCr contiene el aditivo α de manera que una relación de contenido del aditivo α no es mayor que 20% atómico. La segunda fuente 74 de evaporación está constituida por nitruro de TiAl que está representado por una fórmula de composición

de $[Ti_{1-w}Al_w]N$ en donde una relación W atómica es 0,30~0,85 de modo que el nitruro de TiAl contiene el aditivo β de modo que una relación de contenido del aditivo β no es mayor que 10% atómico. La tercera fuente 78 de evaporación está constituida por nitruro de TiSi que está representado por una fórmula de composición de $[Ti_{1-y}Si_y]N$ en donde una relación Y atómica es 0,05~0,45 de modo que el nitruro de TiSi contiene el aditivo γ tal que una relación de contenido del aditivo γ no es mayor que 10% atómico. Cuando se va a formar la capa 32 de interfaz sobre el sustrato 30 de herramienta, el nitruro de AlCr se evapora de la primera fuente 70 de evaporación por la primera fuente 64 de potencia de arco, o el nitruro de TiAl se evapora de la segunda fuente 74 de evaporación por la segunda fuente 66 de potencia de arco. Cuando se va a formar cada una de las capas 34 A sobre el sustrato 30 de la herramienta, el nitruro de AlCr se evapora de la primera fuente 70 de evaporación por la primera fuente 64 de potencia de arco. Cuando se forma cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa en el sustrato 30 de herramienta, los términos en los que el nitruro de TiAl se evapora de la segunda fuente 74 de evaporación por la segunda fuente 66 de potencia de arco y los términos en los que el nitruro de TiSi se evapora de la tercera fuente 78 de evaporación por la tercera fuente 68 de potencia de arco son alternativamente siempre que las capas B 34 de nano orden constituidas por el nitruro de TiAl y las capas C 36 de nano orden constituidas por el nitruro de TiSi se laminen alternativamente. Con estas operaciones siendo realizadas selectivamente, el recubrimiento 24 duro mostrado en la figura 3 está dispuesto sobre el sustrato 30 de herramienta, por ejemplo.

Para comprobar la resistencia al desgaste y la resistencia a la soldadura, los presentes inventores prepararon 50 tipos de muestras 1-50 de prueba en cada una de las cuales el recubrimiento 24 duro mostrado en la figura 3 se forma sobre el sustrato 30 de herramienta que tiene sustancialmente la misma forma que el taladro 10 mostrado en las figuras 1 y 2 y hechos de carburo cementado, usando el aparato 50 de enchapado de iones de arco de la figura 7. Las muestras 1-50 de prueba son diferentes entre sí, como se muestra en las figuras 8, 9, 10 y 11, en términos de las relaciones de composición (% atómico) y el grosor (nm) de la capa 32 de interfaz, las capas 34 A, las capas 36 B y las capas 38 C, el número de pares de las capas 36, 38 B y C laminadas en cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa, el grosor de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa y el número de pares de las capas 34, 40 A laminadas y con alternancia de nanocapa. Entonces, los presentes inventores midieron la dureza de recubrimiento de cada una de las muestras 1-50 de prueba de acuerdo con el método de medición de dureza de recubrimiento (dureza Vickers) que se describe a continuación, y midió el ancho de desgaste y la distancia de corte cuando se realiza un corte a cada una de las muestras 1-50 de prueba de acuerdo con una condición de prueba de corte, para evaluar el rendimiento de corte. La figura 12 muestra el resultado de la evaluación. Se observa que una unidad de valores de composición mostrada en las figuras 8, 9 y 10 es % atómico (% atómico).

(Método de medición de la dureza del recubrimiento)

De acuerdo con el método de prueba de dureza Vickers (JISG0202, Z2244), el valor HV (dureza Vickers) del recubrimiento duro de cada una de las muestras 1-50 de prueba se midió en una condición indicada por el símbolo HV0.025 de dureza.

(Condición de prueba de corte)

Material de la pieza de trabajo: S50C

Velocidad de corte: 100m/min.

Velocidad de rotación: 5305 min⁻¹

Tasa de alimentación: 0.18 mm/rev.

Profundidad de corte: 30 mm (orificio ciego)

Cantidad de alimentación por pasos: alimentación por pasos

Fluido de corte: fluido de corte soluble en agua

(Método de medición del ancho de desgaste)

Se repitió el taladrado hasta que la distancia de corte de los bordes de corte del extremo distal del taladro alcanzó los 50 m. Luego, cuando la distancia de corte alcanzó los 50 m, el ancho de desgaste del recubrimiento en la cara del flanco en la porción del extremo distal del taladro, es decir, el ancho de exposición del sustrato en porciones adyacentes a los bordes de corte se midió realmente usando un microscopio estereoscópico con escala. El ancho de desgaste medido se muestra en *1 en la figura 12.

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

La distancia de corte de los bordes de corte del extremo distal del taladro se calculó con base en la condición de prueba de corte (velocidad de rotación: 5305min⁻¹, tasa de avance: 0,18 mm/rev, profundidad de corte: 30 mm) y el

número de orificios mecanizados (distancia de corte total) hasta que el ancho de desgaste del taladro alcanzó 0,2 mm. La distancia de corte calculada se muestra en *2 en la figura 12. Los que tienen una distancia de corte más corta de 50 m se evaluaron inaceptables y se indican con la marca "X" en *3 en la figura 12. Los que tienen una distancia de corte no menor de 50 m se evaluaron aceptables y se indican con la marca "O" en *3 en la figura 12.

5 Como se muestra en la figura 12, la dureza de recubrimiento de las muestras 7-50 de prueba correspondiente a las realizaciones de la presente invención fue 2990-3490 (HV0.025), y fue mayor que la dureza de recubrimiento de las muestras 1-6 de prueba de acuerdo con ejemplos comparativos.

10 Además, como se muestra en la figura 12, las muestras 1-6 de prueba correspondientes a los ejemplos comparativos se consideraron inaceptables, ya que la distancia de corte hasta que el ancho de desgaste alcanzó 0,2 mm fue menor que 50 m como un valor mínimo aceptable. En la muestra 1 de prueba, no se proporcionan las capas 40 con alternancia de nanocapa, cada una de las cuales es una capa alternativa de las capas 36, 38, B y C, y el grosor de la capa 32 de interfaz es mayor de 1000 nm. En la muestra 2 de prueba, el grosor de cada una de las capas 34 A es mayor que 1000 nm. En la muestra 3 de prueba, no se proporcionan las capas 34 A, el grosor T_B de cada una de las capas 36 B y el grosor T_C de cada una de las capas 38 C son mayores de 100 nm, el grosor de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa son mayores que 1000 nm, y el grosor total es mayor que 20 μm . En la muestra 4 de prueba, el grosor T_A de cada una de las capas 34 A es tan pequeño y menor que 50 nm, y el grosor de la capa 32 de interfaz es mayor que 1000 nm. En la muestra 5 de prueba, no se proporcionan las capas 34 A, y el grosor T_B de cada una de las capas 36 B es tan pequeño y menor que 1 nm. En la muestra 6 de prueba, el grosor T_A de cada una de las capas 34 A es tan pequeño y menor que 50 nm, el grosor T_B de cada una de las capas 36 B y el grosor T_C de cada una de las capas 38 C son menores que 1 nm, el grosor de la capa 32 de interfaz es menor que 50 nm, y el grosor total es menor que 0,5 μm .

25 Sin embargo, las muestras 7-50 de prueba correspondientes a las realizaciones de la invención se consideraron aceptables, ya que la distancia de corte hasta que el ancho de desgaste alcanzó 0,2 mm no era menor que 50 m como el valor mínimo aceptable. Se observa que sustancialmente los mismos resultados que los mostrados en la figura 12 se obtuvieron también en los taladros mostrados en las figuras 4-6. En el taladro de la figura 4, la capa más superior del recubrimiento 24 duro es la capa 40 con alternancia de nanocapa y el número de laminación del recubrimiento 24 duro es un número impar. El taladro de la figura 5 es sustancialmente el mismo que el taladro de la figura 3 excepto que la capa 32 de interfaz está hecha de material sustancialmente igual al material de las capas 40 con alternancia de nanocapa. En el taladro de la figura 6, no se proporciona la capa 32 de interfaz, el número de laminación del recubrimiento 24 duro es un número par y el número de laminación de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es un número par. Es decir, sustancialmente los mismos resultados que los mostrados en la figura 12 se obtuvieron independientemente de si la capa 32 de interfaz está presente o ausente, independientemente de si la capa más superior o la capa más baja del recubrimiento 24 duro es la capa 34 A o la capa 40 con alternancia de nanocapa, independientemente de si el número de laminación del recubrimiento 24 duro es un número impar o un número par, independientemente de si el número de laminación de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es un número impar o un número par.

40 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, la composición de las capas 34 A es tal que una relación de contenido de A1 es 20-80% atómico, una relación de contenido de Cr es 80-20% atómico, y el aditivo α está constituido por Si, V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y/o W y una relación de contenido del aditivo α es 0-20% atómico, por ejemplo, como se muestra en las muestras 7 y 13 de prueba de la figura 8. Es decir, la composición preferible de las capas 34 A es nitruro de AlCr representado por la fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-u-v}\text{Cr}_u\text{d}_v]\text{N}$ en donde la relación U atómica es 0,20-0,80 y la relación V atómica es 0-0,20. El grosor T_A de cada una de las capas 34 A es preferiblemente de 50-1000 nm, por ejemplo, como se muestra en las muestras 7 y 15 de prueba de la figura 11.

50 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, la composición de las capas 36 B es tal que una relación de contenido de Ti es 15-70% atómico, una relación de contenido de A1 es 85-30% atómico, y el aditivo β está constituido por al menos un tipo de elemento de B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W y una relación de contenido del aditivo β es 0-10% atómico, por ejemplo, como se muestra en las muestras de prueba 8 y 22 de la figura 9. Es decir, la composición preferible de las capas 36 B es nitruro de TiAl representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-w-x}\text{Al}_w\beta_x]\text{N}$ en donde la relación W atómica es 0,30-0,85 y la relación X atómica es 0-0,10. El grosor T_B de cada una de las capas 36 B es preferiblemente de 1-100 nm, por ejemplo, como se muestra en las muestras 15 y 25 de prueba de la figura 11.

60 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, la composición de las capas 38 C es tal que una relación de contenido de Ti es 55-94.5% atómico, una relación de contenido de Si es 5-45% atómico, y el aditivo γ está constituido por al menos un tipo de elemento de B, C, V, Y, Nb, Mo y W y una relación de contenido del aditivo γ es 0-10% atómico, por ejemplo, como se muestra en las muestras 14 y 16 de prueba de la figura 10. Es decir, la composición preferible de las capas 38 C es nitruro de TiSi representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-y-z}\text{Si}_y\gamma]\text{N}$ en donde la relación Y atómica es 0,05-0,45 y la relación atómica Z es 0-0,10. El grosor T_C de cada una de las capas 38 C es preferiblemente de 1-100 nm, por ejemplo, como se muestra en las muestras 14 y 15 de prueba de la figura 11)

5 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, el grosor de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es de 50-1000 nm, por ejemplo, como se muestra en la muestra 7, 27 y 28 de prueba de la figura 11. Además, una relación T_A/T_{NL} del grosor T_A de cada una de las capas 34 A al grosor T_{NL} de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es 0,2-10.

10 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, el grosor de la capa 32 de interfaz es 50-1000 nm, por ejemplo, como se muestra en las muestras 10 y 11 de prueba de la figura 11.

15 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, el grosor total del recubrimiento 24 duro es de 0,5-20 μm , por ejemplo, como se muestra en las muestras 7 y 25 de prueba de la figura 11.

20 En las muestras 7-50 de prueba mostradas en la figura 12 y correspondiente a las realizaciones de la invención, el número de repeticiones en cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa en las que las capas 36, 38, B y C están laminadas, es decir, el número de pares de las capas B y C 36, 38 laminadas en cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es 1-100, por ejemplo, como se muestra en las muestras 27 y 43 de prueba. Además, el número de repeticiones en el recubrimiento 24 duro en el que las capas 34, 40 A con alternancia de nanocapa están laminadas, es decir, el número de pares de capas 34, 40 A laminadas y alternadas de nanocapa en el recubrimiento 24 duro es 2-199, por ejemplo, como se muestra en las muestras 7 y 15 de prueba.

25 La figura 13 es una vista que muestra características de aumento del ancho de desgaste, que fue causada por el aumento de la distancia de corte en las muestras 1 y 5 de prueba correspondientes a los ejemplos comparativos y las muestras 15, 19, 20, 41 y 27 de prueba correspondientes a las realizaciones de la invención en la prueba de corte descrita anteriormente. Una tasa de aumento del ancho de desgaste en las muestras 1 y 5 de prueba correspondientes a los ejemplos comparativos es considerablemente grande en comparación con la de las muestras 15, 19, 20, 41 y 27 de prueba correspondientes a las realizaciones de la invención.

30 De acuerdo con la presente realización, el recubrimiento 24 duro, que se va a disponer para cubrir la superficie del sustrato 30 de la herramienta, tiene un grosor total de 0,5-20 μm , y consiste en las capas 34 A y las capas 40 con alternancia de nanocapa que se laminan alternativamente por deposición física de vapor, en donde cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa consta de las capas 36 B y las capas 38 C que se laminan alternativamente. Cada una de las capas 34 A tiene el grosor de 50-1000 nm y es nitruro de AlCr que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-U}\text{Cr}_U]\text{N}$ en donde la relación U atómica es 0,20-0,80. Cada una de las capas 36 B tiene un grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiAl que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-W}\text{Al}_W]\text{N}$ en donde la relación W atómica es 0,30-0,85. Cada una de las capas 38 C tiene el grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiSi que está representado por la fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-Y}\text{Si}_Y]\text{N}$ en donde la relación Y atómica es 0,05-0,45. Cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa tiene un grosor de 50-1000 nm. En consecuencia, es posible obtener el taladro 10 que proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similares, y que proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para cortar acero aleado, acero inoxidable o similares.

35 De acuerdo con la presente realización, la relación T_A/T_{NL} del grosor T_A de cada una de las capas 34 A al grosor T_{NL} de cada una de las capas 40 con alternancia de nanocapa es de 0,2-10. Por lo tanto, es posible obtener una herramienta que proporciona resistencia al desgaste cuando se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similares, y que proporciona resistencia a la soldadura cuando se usa para cortar acero aleado, acero inoxidable o similares.

40 De acuerdo con la invención, cada una de las capas 34 A contiene opcionalmente el aditivo α que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en Si, V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, tales que la relación de contenido del aditivo α no es mayor que 20% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en cada una de las capas 34 A, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de AlCr, de modo que se aumenta la resistencia y se forma un óxido en la superficie al aumentar la temperatura durante una operación de corte, proporcionando así excelente resistencia al desgaste y equilibrio preferible de la resistencia al desgaste a la resistencia de la soldadura, y en consecuencia, prolonga la vida útil de la herramienta del taladro 10.

45 De acuerdo con la invención, cada una de las capas 36 B contiene opcionalmente el aditivo β que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que la relación de contenido del aditivo β no sea mayor que 10% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en cada una de las capas 36 B, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de TiAl, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste del taladro 10.

50 De acuerdo con la invención, cada una de las capas 38 C contiene opcionalmente el aditivo γ que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en B, C, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la proporción de contenido del aditivo γ no es mayor que 10% atómico. Por lo tanto, el fortalecimiento de la solución sólida se produce en cada

una de las capas 38 C, por lo que se puede aumentar la dureza del nitruro de TiSi, proporcionando así una excelente resistencia al desgaste del taladro 10. Particularmente, donde el aditivo y es al menos uno de V, Nb, Mo y W, se forma un óxido por el aumento de la temperatura durante una operación de corte, lo que proporciona una función autolubrificante y, en consecuencia, aumenta la vida útil de la herramienta del taladro 10.

5 De acuerdo con la presente realización, el recubrimiento 24 duro mostrado en la figura 6 está dispuesto para cubrir directamente el sustrato 30 de herramienta. Por lo tanto, no es necesario disponer una capa de interfaz entre el recubrimiento 24 duro y el sustrato 30 de herramienta, por lo que la producción puede realizarse fácilmente.

10 De acuerdo con la presente realización, el recubrimiento 24 duro mostrado en las figuras 3, 4 y 5 está dispuesto para cubrir el sustrato 30 de herramienta a través de la capa 32 de interfaz, y la capa 32 de interfaz tiene un grosor de 50-1000 nm, y está hecha del material sustancialmente igual que el material de las capas 34 A, B capas 36 o capas 40 con alternancia de nanocapa. Por lo tanto, es posible aumentar aún más la resistencia de unión entre el recubrimiento 24 duro y el sustrato 30 de herramienta.

15 De acuerdo con la presente realización, el taladro 10 es una herramienta cubierta con recubrimiento duro que está cubierta parcialmente con el recubrimiento 24 duro. Por lo tanto, es posible proporcionar resistencia al desgaste cuando el taladro 10 se usa para cortar acero al carbono, hierro fundido o similar, y proporcionan resistencia a la soldadura cuando el taladro 10 se usa para cortar acero aleado, acero inoxidable o similar.

20 Descripción de los signos de referencia

25 10: Taladro (herramienta cubierta con recubrimiento duro, miembro cubierto con recubrimiento duro), 30: sustrato de herramienta (sustrato), 24: recubrimiento duro, 34: capas A, 36: capas B, 38: capas C, 40: capas con alternancia de nanocapa

REIVINDICACIONES

1. Un recubrimiento (24) duro que cubre una superficie (30) de un sustrato, en donde
- 5 dicho recubrimiento (24) duro tiene un grosor total de 0,5-20 μm e incluye una capa (34) A y una capa (40) con alternancia de nanocapa que se laminan alternativamente por deposición física de vapor, en donde dicha capa (40) con alternancia de nanocapa incluye una capa (36) B y una capa (38) C que se laminan alternativamente,
- 10 dicha capa (34) A tiene un grosor de 50-1000 nm y es nitruro de AlCr que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Al}_{1-U}\text{Cr}_U]\text{N}$, en donde una relación U atómica es 0,20-0,80 y que opcionalmente contiene un aditivo α que es al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo que consiste en Si, V, Y, Zr, Nb, Mo, Ta y W, de modo que la relación de contenido de dicho aditivo α no sea mayor del 20% atómico,
- 15 dicha capa (36) B tiene un grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiAl que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-W}\text{Al}_W]\text{N}$, en donde una relación W atómica es 0,30-0,85 y que opcionalmente contiene aditivo β que es al menos un tipo de elemento seleccionado del grupo que consiste en B, C, V, Cr, Zr, Nb, Mo, Hf, Ta y W, de modo que una relación de contenido de dicho aditivo β no sea mayor del 10% atómico,
- 20 dicha capa (38) C tiene un grosor de 1-100 nm y es nitruro de TiSi que está representado por una fórmula de composición de $[\text{Ti}_{1-Y}\text{Si}_Y]\text{N}$, en donde una relación Y atómica es 0,05-0,45 y que opcionalmente contiene aditivo γ que es al menos un tipo de elemento seleccionado de un grupo que consiste en B, C, V, Y, Nb, Mo y W, de modo que la relación de contenido de dicho aditivo γ no sea mayor que 10 % atómico, y
- 25 dicha capa (40) con alternancia de nanocapa tiene un grosor de 50-1000 nm.
2. El recubrimiento (24) duro de acuerdo con la reivindicación 1, en donde una relación T_A/T_{NL} del grosor T_A de dicha capa (34) A tiene un grosor T_{NL} de dicha capa (40) con alternancia de nanocapa es de 0,2-10.
3. El recubrimiento (24) duro de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en donde dicho recubrimiento (24) duro está
- 30 dispuesto para cubrir directamente el sustrato (30).
4. El recubrimiento (24) duro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-3, en donde
- 35 dicho recubrimiento (24) duro está dispuesto para cubrir el sustrato (30) a través de una capa (32) de interfaz, y
- dicha capa (32) de interfaz tiene un grosor de 50-1000 nm, y está hecha de material sustancialmente igual al material de dicha capa (34) A, dicha capa (36) B, dicha capa (38) C o dicha capa (40) con alternancia de nanocapa.
5. Un miembro (10) cubierto con recubrimiento duro que comprende: un sustrato (30) cubierto parcial o totalmente con
- 40 dicho recubrimiento (24) duro de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 1-4.

FIG.1

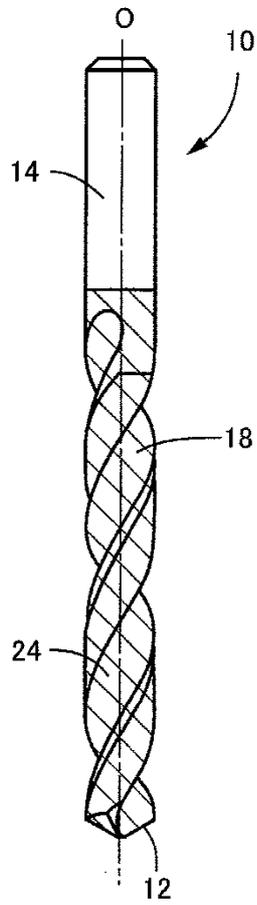


FIG.2

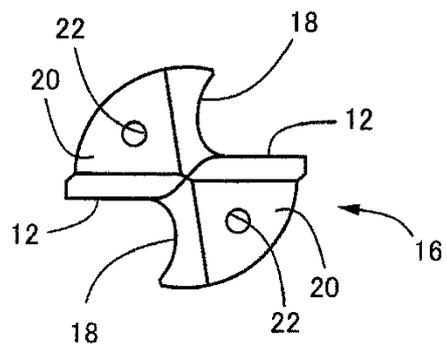


FIG.3

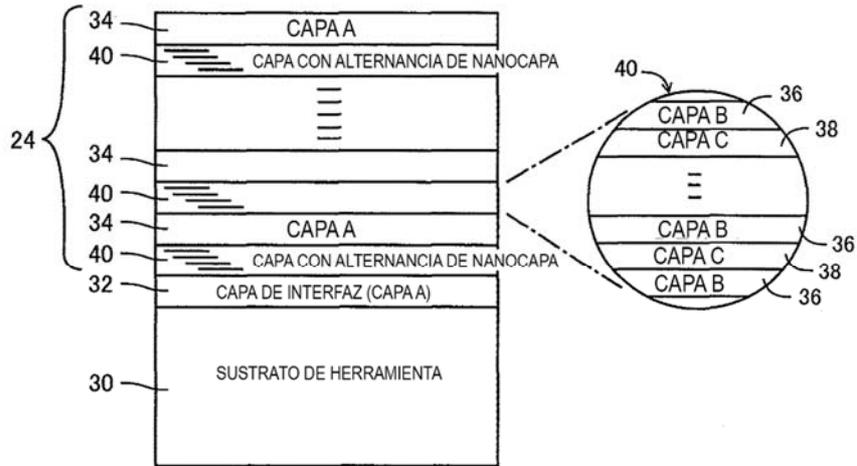


FIG.4



FIG.5



FIG.6

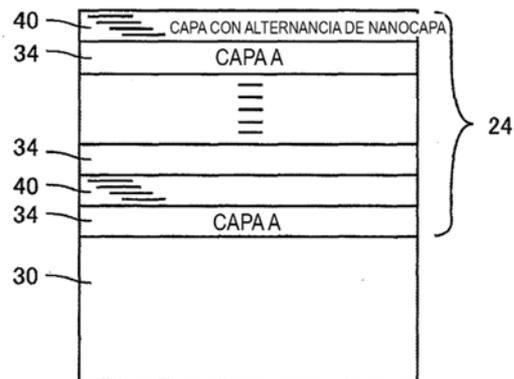


FIG.7

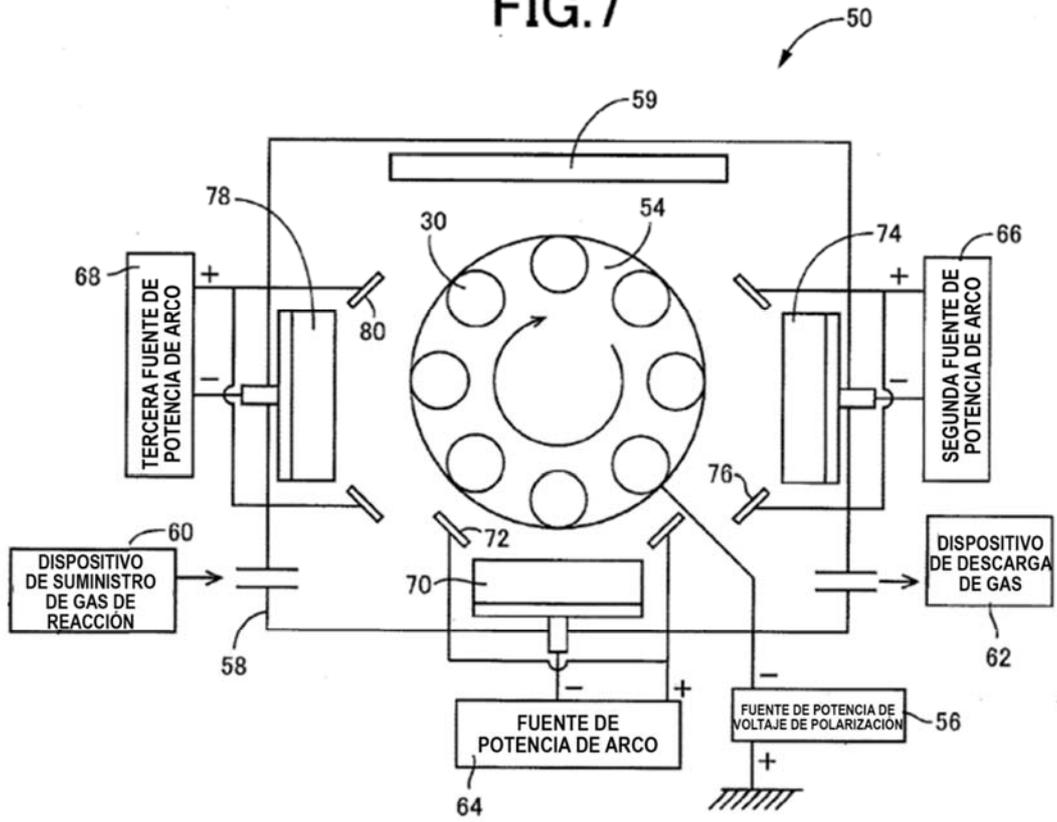


FIG.8

| COMPOSICIÓN | CAPAA (% atómico) | | | | | | | | | |
|----------------------|-------------------|------|------|------|-----|------|-----|------|------|-----|
| | Al | Cr | Si | V | Y | Zr | Nb | Mo | Ta | W |
| MUESTRA 1 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | | |
| MUESTRA 2 DE PRUEBA | 20 | 80 | | | | | | | | |
| MUESTRA 3 DE PRUEBA | 0 | 0 | | | | | | | | |
| MUESTRA 4 DE PRUEBA | 100 | | | | | | | | | |
| MUESTRA 5 DE PRUEBA | 0 | 0 | | | | | | | | |
| MUESTRA 6 DE PRUEBA | 0 | 100 | | | | | | | | |
| MUESTRA 7 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | | |
| MUESTRA 8 DE PRUEBA | 75 | 25 | | | | | | | | |
| MUESTRA 9 DE PRUEBA | 65 | 35 | | | | | | | | |
| MUESTRA 10 DE PRUEBA | 60 | 40 | | | | | | | | |
| MUESTRA 11 DE PRUEBA | 50 | 50 | | | | | | | | |
| MUESTRA 12 DE PRUEBA | 30 | 70 | | | | | | | | |
| MUESTRA 13 DE PRUEBA | 20 | 80 | | | | | | | | |
| MUESTRA 14 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | | |
| MUESTRA 15 DE PRUEBA | 25 | 75 | | | | | | | | |
| MUESTRA 16 DE PRUEBA | 20 | 80 | | | | | | | | |
| MUESTRA 17 DE PRUEBA | 50 | 50 | | | | | | | | |
| MUESTRA 18 DE PRUEBA | 64.8 | 20 | 15.2 | | | | | | | |
| MUESTRA 19 DE PRUEBA | 63.6 | 24.5 | 11.9 | | | | | | | |
| MUESTRA 20 DE PRUEBA | 66 | 30 | 4 | | | | | | | |
| MUESTRA 21 DE PRUEBA | 66 | 33.5 | 0.5 | | | | | | | |
| MUESTRA 22 DE PRUEBA | 27.5 | 69 | 3.5 | | | | | | | |
| MUESTRA 23 DE PRUEBA | 75 | 23 | | | 2 | | | | | |
| MUESTRA 24 DE PRUEBA | 45 | 54.2 | | | 0.8 | | | | | |
| MUESTRA 25 DE PRUEBA | 30 | 50 | | | 20 | | | | | |
| MUESTRA 26 DE PRUEBA | 75 | 24.5 | | | | 0.5 | | | | |
| MUESTRA 27 DE PRUEBA | 58.3 | 28 | | | | 13.7 | | | | |
| MUESTRA 28 DE PRUEBA | 35 | 63.4 | | | | 1.6 | | | | |
| MUESTRA 29 DE PRUEBA | 74.5 | 25.2 | | 0.3 | | | | | | |
| MUESTRA 30 DE PRUEBA | 30.5 | 55 | | 14.5 | | | | | | |
| MUESTRA 31 DE PRUEBA | 20 | 69 | 10 | 1 | | | | | | |
| MUESTRA 32 DE PRUEBA | 46.9 | 50.2 | 0.5 | 2.4 | | | | | | |
| MUESTRA 33 DE PRUEBA | 74.5 | 20 | | | | | 5.5 | | | |
| MUESTRA 34 DE PRUEBA | 45.6 | 50.2 | | | | | 4.2 | | | |
| MUESTRA 35 DE PRUEBA | 40.9 | 45 | | | | | | | 14.1 | |
| MUESTRA 36 DE PRUEBA | 70.5 | 24.5 | | | | | | | 5 | |
| MUESTRA 37 DE PRUEBA | 24.5 | 55.6 | | | | | | 19.9 | | |
| MUESTRA 38 DE PRUEBA | 70.5 | 24.3 | | | | | | 5.2 | | |
| MUESTRA 39 DE PRUEBA | 33 | 64.2 | | | | | | 0.3 | 2.5 | |
| MUESTRA 40 DE PRUEBA | 69.8 | 20 | | | | | | 9.7 | 0.5 | |
| MUESTRA 41 DE PRUEBA | 65 | 28 | 5 | | | | | 2 | | |
| MUESTRA 42 DE PRUEBA | 30.5 | 64.4 | 2.5 | | | | | | 2.6 | |
| MUESTRA 43 DE PRUEBA | 65.4 | 29 | 3.2 | | | | | | 2.4 | |
| MUESTRA 44 DE PRUEBA | 30 | 55.3 | 2.5 | | | | | | 12.2 | |
| MUESTRA 45 DE PRUEBA | 20 | 63.5 | 10 | 5.1 | | | | | 1.4 | |
| MUESTRA 46 DE PRUEBA | 20 | 77 | | | | | | | | 3 |
| MUESTRA 47 DE PRUEBA | 35 | 63 | | | | | | | | 2 |
| MUESTRA 48 DE PRUEBA | 67 | 30.5 | | | | | | | | 2.5 |
| MUESTRA 49 DE PRUEBA | 70 | 21 | | | | | | | 5 | 4 |
| MUESTRA 50 DE PRUEBA | 35 | 64 | | | | | | 0.5 | | 0.5 |

FIG.9

| COMPOSICIÓN | CAPA B (% atómico) | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | Ti | Al | B | C | V | Cr | Zr | Nb | Mo | Hf | Ta | W |
| MUESTRA 1 DE PRUEBA | 0 | 0 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 2 DE PRUEBA | 60 | 40 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 3 DE PRUEBA | 30 | 70 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 4 DE PRUEBA | 40 | 60 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 5 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 6 DE PRUEBA | 10 | 90 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 7 DE PRUEBA | 45 | 55 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 8 DE PRUEBA | 15 | 85 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 9 DE PRUEBA | 30 | 70 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 10 DE PRUEBA | 40 | 60 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 11 DE PRUEBA | 50 | 50 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 12 DE PRUEBA | 65 | 35 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 13 DE PRUEBA | 55 | 45 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 14 DE PRUEBA | 20 | 80 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 15 DE PRUEBA | 40 | 60 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 16 DE PRUEBA | 45 | 55 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 17 DE PRUEBA | 15 | 85 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 18 DE PRUEBA | 30 | 70 | | | | | | | | | | |
| MUESTRA 19 DE PRUEBA | 69 | 30 | | | | 1.5 | | | | | | |
| MUESTRA 20 DE PRUEBA | 65 | 30 | | | | 5 | | | | | | |
| MUESTRA 21 DE PRUEBA | 15 | 83.5 | | | | 1.5 | | | | | | |
| MUESTRA 22 DE PRUEBA | 70 | 30 | 0.1 | | | | | | | | | |
| MUESTRA 23 DE PRUEBA | 45 | 45 | 10 | | | | | | | | | |
| MUESTRA 24 DE PRUEBA | 15 | 80 | 5 | | | | | | | | | |
| MUESTRA 25 DE PRUEBA | 35 | 58 | | 7 | | | | | | | | |
| MUESTRA 26 DE PRUEBA | 38 | 60 | | 2 | | | | | | | | |
| MUESTRA 27 DE PRUEBA | 68 | 30 | | | 2 | | | | | | | |
| MUESTRA 28 DE PRUEBA | 65 | 30 | | | 5.5 | | | | | | | |
| MUESTRA 29 DE PRUEBA | 15 | 82.6 | | | 2.4 | | | | | | | |
| MUESTRA 30 DE PRUEBA | 35 | 56.3 | | | | | 8.7 | | | | | |
| MUESTRA 31 DE PRUEBA | 41.9 | 51.1 | | | | | 7 | | | | | |
| MUESTRA 32 DE PRUEBA | 68.4 | 31.5 | | | | | 0.1 | | | | | |
| MUESTRA 33 DE PRUEBA | 25 | 67 | | | | 0.5 | 7.5 | | | | | |
| MUESTRA 34 DE PRUEBA | 15 | 80 | | | | 4.5 | 0.5 | | | | | |
| MUESTRA 35 DE PRUEBA | 20 | 70.2 | | | | | | 9.8 | | | | |
| MUESTRA 36 DE PRUEBA | 68 | 30.5 | | | | | | 2 | | | | |
| MUESTRA 37 DE PRUEBA | 42 | 45 | | | | 5 | | 8 | | | | |
| MUESTRA 38 DE PRUEBA | 30 | 68 | | | | | | | 2 | | | |
| MUESTRA 39 DE PRUEBA | 56 | 41.3 | | | | | | | 2.7 | | | |
| MUESTRA 40 DE PRUEBA | 39 | 54.5 | | | | | | | | 6.5 | | |
| MUESTRA 41 DE PRUEBA | 32 | 62.5 | | | | | | | | | 5.5 | |
| MUESTRA 42 DE PRUEBA | 36 | 61 | | | | | | | | | 3 | |
| MUESTRA 43 DE PRUEBA | 40 | 55.4 | | | | | | | | | | 4.6 |
| MUESTRA 44 DE PRUEBA | 60 | 35 | | | | | | | | | | 5 |
| MUESTRA 45 DE PRUEBA | 68 | 30 | | | | | | | | | | 2 |
| MUESTRA 46 DE PRUEBA | 55 | 35 | | | | | | | 8 | | | 2 |
| MUESTRA 47 DE PRUEBA | 15 | 77 | | | | | | 4 | | | | 4 |
| MUESTRA 48 DE PRUEBA | 50 | 44.8 | | | | | | | | 0.5 | | 4.7 |
| MUESTRA 49 DE PRUEBA | 40 | 50.8 | | | | | | | | 0.8 | 5 | 3.4 |
| MUESTRA 50 DE PRUEBA | 58 | 30 | | 0.5 | | | | | 1.5 | | | 10 |

FIG.10

| COMPOSICIÓN | CAPA C (% atómico) | | | | | | | | |
|----------------------|--------------------|------|------|-----|-----|------|-----|----|-----|
| | Ti | Si | B | C | V | Y | Nb | Mo | W |
| MUESTRA 1 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | |
| MUESTRA 2 DE PRUEBA | 0 | 0 | | | | | | | |
| MUESTRA 3 DE PRUEBA | 55 | 45 | | | | | | | |
| MUESTRA 4 DE PRUEBA | 95 | 5 | | | | | | | |
| MUESTRA 5 DE PRUEBA | 85 | 15 | | | | | | | |
| MUESTRA 6 DE PRUEBA | 55 | 45 | | | | | | | |
| MUESTRA 7 DE PRUEBA | 85 | 15 | | | | | | | |
| MUESTRA 8 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | |
| MUESTRA 9 DE PRUEBA | 60 | 40 | | | | | | | |
| MUESTRA 10 DE PRUEBA | 85 | 15 | | | | | | | |
| MUESTRA 11 DE PRUEBA | 80 | 20 | | | | | | | |
| MUESTRA 12 DE PRUEBA | 75 | 25 | | | | | | | |
| MUESTRA 13 DE PRUEBA | 65 | 35 | | | | | | | |
| MUESTRA 14 DE PRUEBA | 55 | 45 | | | | | | | |
| MUESTRA 15 DE PRUEBA | 55 | 44.5 | | | | 0.5 | | | |
| MUESTRA 16 DE PRUEBA | 94.5 | 5 | | | | 0.5 | | | |
| MUESTRA 17 DE PRUEBA | 85 | 5 | | | | 10.0 | | | |
| MUESTRA 18 DE PRUEBA | 85 | 13.5 | | | | 1.5 | | | |
| MUESTRA 19 DE PRUEBA | 90 | 5.5 | | | 4.5 | | | | |
| MUESTRA 20 DE PRUEBA | 85.3 | 14.2 | | | 0.5 | | | | |
| MUESTRA 21 DE PRUEBA | 91.5 | 5 | | | 3.5 | | | | |
| MUESTRA 22 DE PRUEBA | 80.2 | 15.2 | | | 4.6 | | | | |
| MUESTRA 23 DE PRUEBA | 93.5 | 5.0 | | | | | 1.5 | | |
| MUESTRA 24 DE PRUEBA | 60 | 35.0 | | | | | 5 | | |
| MUESTRA 25 DE PRUEBA | 55 | 44.5 | | | | | 0.5 | | |
| MUESTRA 26 DE PRUEBA | 85.5 | 12.5 | | | | | | 2 | |
| MUESTRA 27 DE PRUEBA | 80.8 | 9.2 | | | | | | 10 | |
| MUESTRA 28 DE PRUEBA | 72.3 | 27.5 | | | | | | 0 | |
| MUESTRA 29 DE PRUEBA | 55 | 42 | | | 1.5 | | | 2 | |
| MUESTRA 30 DE PRUEBA | 85 | 14 | | | | | | | 1 |
| MUESTRA 31 DE PRUEBA | 55 | 35.0 | | | | | | | 10 |
| MUESTRA 32 DE PRUEBA | 79 | 20.5 | | | | | | | 0.5 |
| MUESTRA 33 DE PRUEBA | 66.8 | 32.5 | | | | | | 1 | 0.2 |
| MUESTRA 34 DE PRUEBA | 55 | 44.5 | 0.5 | | | | | | |
| MUESTRA 35 DE PRUEBA | 76.4 | 13.6 | 10.0 | | | | | | |
| MUESTRA 36 DE PRUEBA | 65.8 | 29.3 | 4.9 | | | | | | |
| MUESTRA 37 DE PRUEBA | 81.2 | 18.7 | | 0.1 | | | | | |
| MUESTRA 38 DE PRUEBA | 90.5 | 5.5 | | 4 | | | | | |
| MUESTRA 39 DE PRUEBA | 90 | 5 | | 1.5 | | | | | 3.5 |
| MUESTRA 40 DE PRUEBA | 85.3 | 5 | | 9.2 | | | | | 0.5 |
| MUESTRA 41 DE PRUEBA | 85 | 12.5 | | 2.5 | | | | | |
| MUESTRA 42 DE PRUEBA | 94.1 | 5 | | 0.9 | | | | | |
| MUESTRA 43 DE PRUEBA | 56 | 42.9 | | 1.1 | | | | | |
| MUESTRA 44 DE PRUEBA | 80.6 | 9.5 | | 9.9 | | | | | |
| MUESTRA 45 DE PRUEBA | 85 | 5.5 | | 9.5 | | | | | |
| MUESTRA 46 DE PRUEBA | 70 | 20 | | 6 | | | 4 | | |
| MUESTRA 47 DE PRUEBA | 55 | 40.4 | | 0.6 | | | | 4 | |
| MUESTRA 48 DE PRUEBA | 68 | 15 | | | 10 | 7 | | | |
| MUESTRA 49 DE PRUEBA | 63.4 | 24 | | | | 5.5 | 7.1 | | |
| MUESTRA 50 DE PRUEBA | 75 | 15 | | | | | | | 10 |

FIG.11

| COMPOSICIÓN | GROSOR DE PELÍCULA | | | | | | | GROSOR TOTAL (µm) |
|----------------------|--------------------|-------------|-------------|------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------|-------------------|
| | CAPA A (nm) | CAPA B (nm) | CAPA C (nm) | NÚMERO DE PARES DE CAPAS LAMINADAS B & C | CAPA CON ALTERNANCIA DE NANOCAPA (nm) | CAPA DE INTERFAZ (nm) | NÚMERO DE PARES DE CAPAS A & CAPA CON ALTERNANCIA DE NANOCAPA | |
| MUESTRA 1 DE PRUEBA | 600 | 0.0 | 2000 | 15 | 30000 | 1300 | 1 | 31.9 |
| MUESTRA 2 DE PRUEBA | 1500 | 10 | 20 | 10 | 300 | 30 | 4 | 7.2 |
| MUESTRA 3 DE PRUEBA | 0 | 200 | 300 | 3 | 1500 | 40 | 16 | 24.1 |
| MUESTRA 4 DE PRUEBA | 30 | 50 | 20 | 3 | 210 | 1200 | 20 | 16.8 |
| MUESTRA 5 DE PRUEBA | 0 | 0.5 | 1 | 10 | 15 | 40 | 150 | 2.7 |
| MUESTRA 6 DE PRUEBA | 40 | 0.5 | 0.5 | 12 | 12 | 35 | 1 | 0.4 |
| MUESTRA 7 DE PRUEBA | 50 | 2 | 3 | 10 | 50 | 50 | 199 | 20.0 |
| MUESTRA 8 DE PRUEBA | 400 | 30 | 12 | 5 | 210 | 100 | 12 | 7.4 |
| MUESTRA 9 DE PRUEBA | 600 | 3 | 3 | 67 | 402 | 200 | 16 | 16.2 |
| MUESTRA 10 DE PRUEBA | 400 | 100 | 25 | 6 | 750 | 50 | 11 | 12.7 |
| MUESTRA 11 DE PRUEBA | 1000 | 80 | 10 | 9 | 810 | 1000 | 3 | 6.4 |
| MUESTRA 12 DE PRUEBA | 350 | 2 | 2 | 15 | 53 | 500 | 12 | 5.3 |
| MUESTRA 13 DE PRUEBA | 550 | 3 | 4 | 14 | 98 | 90 | 25 | 16.3 |
| MUESTRA 14 DE PRUEBA | 850 | 5 | 1 | 17 | 102 | 1000 | 5 | 5.8 |
| MUESTRA 15 DE PRUEBA | 1000 | 100 | 100 | 3 | 600 | 200 | 2 | 3.1 |
| MUESTRA 16 DE PRUEBA | 200 | 2 | 1 | 17 | 51 | 200 | 44 | 11.2 |
| MUESTRA 17 DE PRUEBA | 200 | 3 | 1 | 14 | 56 | 50 | 35 | 9.0 |
| MUESTRA 18 DE PRUEBA | 250 | 5 | 1 | 9 | 54 | 60 | 15 | 4.6 |
| MUESTRA 19 DE PRUEBA | 300 | 10 | 2 | 7 | 84 | 70 | 15 | 5.8 |
| MUESTRA 20 DE PRUEBA | 400 | 2 | 3 | 12 | 60 | 50 | 20 | 9.3 |
| MUESTRA 21 DE PRUEBA | 600 | 6 | 4 | 6 | 60 | 100 | 15 | 10.0 |
| MUESTRA 22 DE PRUEBA | 1000 | 3 | 3 | 10 | 60 | 200 | 3 | 3.4 |
| MUESTRA 23 DE PRUEBA | 980 | 12 | 4 | 15 | 240 | 300 | 3 | 4.0 |
| MUESTRA 24 DE PRUEBA | 450 | 20 | 20 | 10 | 400 | 500 | 2 | 2.2 |
| MUESTRA 25 DE PRUEBA | 50 | 1 | 1 | 25 | 50 | 50 | 4 | 0.5 |
| MUESTRA 26 DE PRUEBA | 990 | 100 | 50 | 6 | 900 | 200 | 2 | 4.4 |
| MUESTRA 27 DE PRUEBA | 1000 | 7 | 3 | 100 | 1000 | 350 | 2 | 4.0 |
| MUESTRA 28 DE PRUEBA | 820 | 6 | 4 | 100 | 1000 | 400 | 2 | 3.9 |
| MUESTRA 29 DE PRUEBA | 1000 | 18 | 9 | 35 | 945 | 550 | 2 | 4.2 |
| MUESTRA 30 DE PRUEBA | 990 | 12 | 8 | 43 | 860 | 1000 | 5 | 10.3 |
| MUESTRA 31 DE PRUEBA | 870 | 65 | 100 | 6 | 990 | 50 | 7 | 13.1 |
| MUESTRA 32 DE PRUEBA | 940 | 15 | 20 | 12 | 420 | 200 | 6 | 8.4 |
| MUESTRA 33 DE PRUEBA | 920 | 50 | 50 | 9 | 900 | 350 | 3 | 5.8 |
| MUESTRA 34 DE PRUEBA | 850 | 15 | 30 | 17 | 765 | 450 | 4 | 6.9 |
| MUESTRA 35 DE PRUEBA | 750 | 10 | 4 | 36 | 504 | 900 | 2 | 3.3 |
| MUESTRA 36 DE PRUEBA | 50 | 1 | 2 | 17 | 51 | 50 | 4 | 0.5 |
| MUESTRA 37 DE PRUEBA | 400 | 7 | 3 | 35 | 350 | 250 | 12 | 9.3 |
| MUESTRA 38 DE PRUEBA | 450 | 15 | 5 | 15 | 300 | 50 | 6 | 4.6 |
| MUESTRA 39 DE PRUEBA | 810 | 20 | 10 | 9 | 270 | 1000 | 9 | 10.7 |
| MUESTRA 40 DE PRUEBA | 480 | 30 | 20 | 6 | 300 | 50 | 8 | 6.3 |
| MUESTRA 41 DE PRUEBA | 400 | 50 | 5 | 9 | 495 | 300 | 22 | 20.0 |
| MUESTRA 42 DE PRUEBA | 400 | 60 | 20 | 3 | 240 | 150 | 10 | 6.6 |
| MUESTRA 43 DE PRUEBA | 400 | 100 | 50 | 1 | 150 | 100 | 8 | 4.5 |
| MUESTRA 44 DE PRUEBA | 1000 | 50 | 100 | 5 | 750 | 200 | 3 | 5.5 |
| MUESTRA 45 DE PRUEBA | 1000 | 30 | 50 | 8 | 640 | 200 | 3 | 5.1 |
| MUESTRA 46 DE PRUEBA | 450 | 5 | 5 | 5 | 50 | 80 | 15 | 7.6 |
| MUESTRA 47 DE PRUEBA | 820 | 10 | 15 | 40 | 1000 | 150 | 8 | 14.7 |
| MUESTRA 48 DE PRUEBA | 100 | 20 | 5 | 2 | 50 | 500 | 14 | 2.6 |
| MUESTRA 49 DE PRUEBA | 1000 | 40 | 10 | 7 | 350 | 500 | 5 | 7.3 |
| MUESTRA 50 DE PRUEBA | 590 | 50 | 1 | 9 | 459 | 300 | 7 | 7.6 |

FIG.12

| COMPOSICIÓN | DUREZA DE RECUBRIMIENTO (HV0.025) | ANCHO DE DESGASTE (mm) *1 | DISTANCIA DE CORTE (m) *2 | EVALUACIÓN *3 | OBSERVACIÓN |
|----------------------|-----------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|---------------------|
| MUESTRA 1 DE PRUEBA | 2720 | 0.345 | 48.3 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 2 DE PRUEBA | 2200 | 0.365 | 30.5 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 3 DE PRUEBA | 2360 | 0.289 | 27.8 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 4 DE PRUEBA | 2100 | 0.335 | 28.3 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 5 DE PRUEBA | 2700 | 0.351 | 42.6 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 6 DE PRUEBA | 2450 | 0.441 | 35.3 | × | EJEMPLO COMPARATIVO |
| MUESTRA 7 DE PRUEBA | 2990 | 0.189 | 87.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 8 DE PRUEBA | 3047 | 0.139 | 112.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 9 DE PRUEBA | 3110 | 0.124 | 117.6 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 10 DE PRUEBA | 3100 | 0.110 | 135.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 11 DE PRUEBA | 3320 | 0.094 | 121 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 12 DE PRUEBA | 3200 | 0.163 | 112 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 13 DE PRUEBA | 3450 | 0.189 | 110 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 14 DE PRUEBA | 3120 | 0.144 | 132 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 15 DE PRUEBA | 3120 | 0.143 | 188.2 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 16 DE PRUEBA | 3310 | 0.139 | 140.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 17 DE PRUEBA | 3250 | 0.189 | 135.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 18 DE PRUEBA | 3110 | 0.084 | 134.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 19 DE PRUEBA | 3140 | 0.139 | 170.4 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 20 DE PRUEBA | 3250 | 0.122 | 200.1 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 21 DE PRUEBA | 3240 | 0.134 | 145.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 22 DE PRUEBA | 3240 | 0.187 | 139.4 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 23 DE PRUEBA | 3220 | 0.142 | 168.7 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 24 DE PRUEBA | 3190 | 0.099 | 159.2 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 25 DE PRUEBA | 3300 | 0.141 | 144.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 26 DE PRUEBA | 3250 | 0.124 | 132.2 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 27 DE PRUEBA | 3200 | 0.198 | 169.8 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 28 DE PRUEBA | 3260 | 0.193 | 144.5 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 29 DE PRUEBA | 3190 | 0.143 | 131.7 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 30 DE PRUEBA | 3250 | 0.158 | 120.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 31 DE PRUEBA | 3230 | 0.178 | 129.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 32 DE PRUEBA | 3260 | 0.138 | 121.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 33 DE PRUEBA | 3290 | 0.133 | 111.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 34 DE PRUEBA | 3270 | 0.122 | 119.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 35 DE PRUEBA | 3210 | 0.154 | 129.7 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 36 DE PRUEBA | 3250 | 0.143 | 170.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 37 DE PRUEBA | 3280 | 0.186 | 149.4 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 38 DE PRUEBA | 3290 | 0.093 | 113 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 39 DE PRUEBA | 3320 | 0.124 | 102.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 40 DE PRUEBA | 3270 | 0.134 | 113.5 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 41 DE PRUEBA | 3280 | 0.177 | 180.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 42 DE PRUEBA | 3280 | 0.152 | 179.2 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 43 DE PRUEBA | 3280 | 0.176 | 132.1 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 44 DE PRUEBA | 3260 | 0.168 | 168.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 45 DE PRUEBA | 3260 | 0.199 | 156.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 46 DE PRUEBA | 3340 | 0.135 | 145.5 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 47 DE PRUEBA | 3490 | 0.199 | 169.3 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 48 DE PRUEBA | 3320 | 0.179 | 155.9 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 49 DE PRUEBA | 3520 | 0.145 | 160.1 | ○ | REALIZACIÓN |
| MUESTRA 50 DE PRUEBA | 3440 | 0.159 | 176.8 | ○ | REALIZACIÓN |

FIG.13

