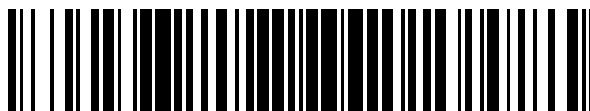


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 648 999**

51 Int. Cl.:

| | |
|-------------------|-----------|
| B23B 27/16 | (2006.01) |
| B23B 27/22 | (2006.01) |
| B23C 5/20 | (2006.01) |
| C23C 16/00 | (2006.01) |
| C23C 14/06 | (2006.01) |
| C23C 14/34 | (2006.01) |
| C23C 28/04 | (2006.01) |
| C23C 30/00 | (2006.01) |
| C23C 28/00 | (2006.01) |

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **26.11.2008 PCT/US2008/084838**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **25.06.2009 WO09079184**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.11.2008 E 08863076 (9)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **25.10.2017 EP 2242603**

54 Título: **Artículo recubierto con un patrón de recubrimientos con nanocapas**

30 Prioridad:

14.12.2007 US 2009

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
09.01.2018

73 Titular/es:

**KENAMETAL INC. (50.0%)
1600 Technology Way
Latrobe, PA 15650, US y
OERLIKON SURFACE SOLUTIONS AG,
PFÄFFIKON (50.0%)**

72 Inventor/es:

**XU, FENGTING;
NI, WANGYANG;
LIU, YIXIONG;
PENICH, RONALD M;
DERFLINGER, VOLKER-HERMANN;
QUINTO, DENNIS T y
BAUER, CHARLES E**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 648 999 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

Artículo recubierto con un patrón de recubrimientos con nanocapas

La invención pertenece a un artículo recubierto, además de un método para aplicar el patrón de recubrimiento de acuerdo con las reivindicaciones 1 y 10. Más específicamente, la invención pertenece a un artículo recubierto en donde el patrón de recubrimiento incluye nanocapas que contienen aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, además de un método para aplicar el patrón de recubrimiento. Ejemplos de artículos recubiertos incluyen sin limitación piezas de inserción de corte y componentes de desgaste.

En referencia a una pieza de inserción de corte recubierta, como ejemplo de un artículo recubierto, una pieza de inserción de corte recubierta habitualmente comprende un sustrato con un patrón de recubrimiento sobre el mismo. La pieza de inserción de corte muestra una geometría tal que habitualmente presenta superficies de ataque y superficies de flancos, en donde existen bordes de corte en la intersección (o unión) de las superficies de ataque y las superficies de flancos. Para piezas de inserción de corte recubiertas, en general, cualquiera de una variedad de técnicas diferentes puede aplicar el patrón de recubrimiento al sustrato. Estas técnicas pueden incluir la deposición química en fase vapor (CVD, por sus siglas en inglés) y la deposición física en fase vapor (PVD, por sus siglas en inglés).

Las piezas de inserción de corte son de utilidad para la retirada de material en una operación de retirada de material con formación de virutas. Las operaciones de retirada de material con formación de virutas incluyen, sin limitación, fresado, torneado, mandrinado, taladrado y operaciones similares, en donde una pieza de inserción de corte se acopla a una pieza de trabajo, donde la pieza de inserción de corte y la pieza de trabajo se desplazan una en relación a la otra. Puede existir una gran cantidad de calor en el punto (o superficie) de acoplamiento entre la pieza de trabajo y la pieza de inserción de corte (es decir, la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta). La transferencia de calor en la interfaz de corte-viruta hacia el sustrato y la interfaz entre el patrón de recubrimiento y el sustrato (es decir, la interfaz de recubrimiento-sustrato), puede resultar perjudicial para el rendimiento de la pieza de inserción de corte. Más específicamente, la transferencia de calor al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato crea un desgaste prematuro excesivo del recubrimiento. Dicho desgaste excesivo del patrón de recubrimiento habitualmente reduce la vida útil de la pieza de inserción de corte recubierta.

El patrón de recubrimiento habitualmente influye el grado de transferencia de calor de la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato. La conductividad térmica del patrón de recubrimiento es una propiedad que puede influenciar fuertemente el grado de dicha transferencia de calor. Un patrón de recubrimiento que muestra una conductividad térmica general inferior reduce, habitualmente, la cantidad de calor en el sustrato y en la interfaz de recubrimiento-sustrato. Dicha reducción en la transferencia de calor da como resultado, habitualmente, una vida útil de la herramienta más amplia para la pieza de inserción de corte, en comparación con una pieza de inserción de corte recubierta que no muestra una reducción en la transferencia de calor.

En el pasado, las piezas de inserción de corte recubiertas han mostrado diversos patrones de recubrimiento. Por ejemplo, la publicación de solicitud de patente de EE.UU. Nº US 2006/0269788 A1 de Ishikawa parece que divulga capas alternas de AlCrTiN con diferentes composiciones entre las capas. De acuerdo con los resúmenes en inglés, la Publicación de patente japonesa Nº 2003 340608 A2 de Natsuki et al., y la publicación de patente japonesa Nº 2004 106108 A2 de Hidemitsu et al., cada una de ellas proporciona una divulgación que parece incluir capas alternas de TiAlCrN, pero el cromo siempre está presente en cada capa de recubrimiento.

El documento WO 2006/084404 A1 de Endrino (cedida a Uniaxis Balzer AG) parece divulgar el uso de una capa de recubrimiento interior de AlCrN y una capa de recubrimiento exterior de AlCrN. De acuerdo con el resumen en inglés, la publicación de patente japonesa Nº 2004 050381 A2 de Yasuhiko aparentemente divulga una capa de superficie de AlCrN. La patente de EE.UU. Nº 7,226,670 B2 de Derflinger et al. (cedida a OC Oerlikon Balzers AG), parece mostrar que el AlCrN es un material de recubrimiento beneficioso.

La Publicación de solicitud de patente de EE.UU. Nº US 2005/0170162 A1 de Yamamoto et al., aparentemente divulga una capa de recubrimiento de (Ti Al Cr)N en un patrón de recubrimiento alterno. La patente de EE.UU. Nº 6,730,392 B2 de Vetter et al., parece divulgar un patrón de recubrimiento alterno en donde las capas presentan diferentes contenidos de aluminio, titanio y cromo, además de diferentes relaciones de nitrógeno/oxígeno. La patente de EE.UU. Nº 7,008,688 B2 de Toihara parece que muestra una disposición de una capa de recubrimiento alterno que utiliza TiAlN y CrN. Además, los siguientes documentos de patente parecen mostrar diversos patrones de recubrimiento con capas de recubrimiento alternas: patente de EE.UU. Nº 6,103,357 de Selinder et al., patente de EE.UU. Nº 7,056,602 de Hörling et al., patente de EE.UU. Nº 7,083,868 de Hörling et al., y la publicación PCT de patente WO 2006/041366 A1 de Astrand et al.

Las siguientes tres patentes aparentemente muestran la utilidad de películas de (Ti Al Cr)N: Patente de EE.UU. N° 6,824,601 B2 de Yamamoto et al., patente de EE.UU. N° 6,919,288 B2 de Yamamoto et al., y patente de EE.UU. N° 7,186,324 B2 de Yamamoto et al.

5 El resumen de la patente de Japón para el documento JP 2003-340608 A divulga una capa de recubrimiento duro elaborada a base de un compuesto de nitruro complejo, que consta de Al, Ti y Cr formado en la superficie de un sustrato de carburo cementado. Los contenidos de Al y Ti varían continuamente dentro de la capa entre las concentraciones en puntos predeterminados que definen las cantidades de la composición.

10 El documento EP 1 726 686 A1 divulga un recubrimiento duro para un sustrato, que incluye un laminado intermedio constituido mediante capas A y B laminadas de forma alternativa que presentan diferentes composiciones químicas. Las capas están compuestas de material seleccionado de un grupo que consiste en nitruros, boruros, carburos y óxidos de los metales Al, Cr, Ti y Si en relaciones atómicas específicas.

El documento EP 1 219 723 A2 divulga una película dura para el recubrimiento de herramientas de corte. La película dura está compuesta de Ti, Al, Cr, Si, B, C y N, donde los carburos y nitruros de los elementos de metal se proporcionan a unas relaciones atómicas definidas.

15 El documento EP 1 316 627 A1 divulga un material de recubrimiento duro que contiene los elementos Al, Ti, Cr, N y O en una composición química definida. El material de recubrimiento está previsto para proporcionar una mejora adhesión del recubrimiento al sustrato, sin una reducción en la resistencia al desgaste y propiedades de fricción.

Resumen de la invención

20 De acuerdo con la presente invención, se proporciona un artículo recubierto, en particular una pieza de inserción de corte recubierta para su uso en una operación de retirada de material con formación de virutas, según se define en la reivindicación 1. La pieza de inserción de corte comprende un sustrato y un patrón de recubrimiento resistente al desgaste. El patrón de recubrimiento resistente al desgaste comprende un patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que contiene titanio, aluminio, cromo y nitrógeno. El patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad comprende una pluralidad de conjuntos de disposiciones de capas alternas en donde cada una de las disposiciones de capas alternas comprende una capa base que comprende titanio, aluminio y nitrógeno, y una región de nanocapas que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas. Cada conjunto de nanocapas alternas comprende una nanocapa que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y otra nanocapa comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno. La capa base presenta un grosor de la capa base, y la región de la nanocapa presenta un grosor de la región de la nanocapa, en donde el grosor de la
30 capa base es menor que el grosor de la nanocapa.

La presente invención además proporciona un método de aplicación de un patrón de recubrimiento según se define en la reivindicación 10. El método comprende los pasos de: aplicar un patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que contiene titanio, aluminio, cromo y nitrógeno, y donde el paso de aplicar el patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad comprende los pasos de: aplicar una pluralidad de conjuntos de disposiciones de capas alternas, en donde la aplicación de cada disposición de capa alterna comprende los pasos de: aplicar una capa base que comprende titanio, aluminio y nitrógeno; y aplicar una región de nanocapas que comprende los pasos de: aplicar una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas que comprende los pasos de: aplicar una nanocapa que comprende titanio, cromo, aluminio, y nitrógeno, y aplicar otra nanocapa que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno.
35

40 La siguiente es una breve descripción de los dibujos que representan realizaciones de la invención y forman una parte de esta solicitud de patente:

La FIG. 1 es una vista isométrica de una pieza de inserción de corte, en donde la pieza de inserción de corte comprende un sustrato y un patrón de recubrimiento resistente al desgaste, y donde una parte del recubrimiento ha sido retirado para exponer el sustrato;

45 La FIG. 2 es una vista esquemática de una realización específica de un patrón de recubrimiento resistente al desgaste de la invención;

La FIG. 2A es una vista esquemática aumentada de la región de recubrimiento de nanocapas del patrón de recubrimiento resistente al desgaste de la FIG. 2.

50 La FIG. 3 es una microfotografía (con una escala de 10 mm) tomada mediante microscopía óptica de una realización específica de la sección transversal de un patrón de recubrimiento que muestra el borde de corte de esquina de una pieza de inserción recubierta;

La FIG. 4 es una microfotografía (con una escala de 10 mm) tomada mediante microscopía electrónica por transmisión (MET) de una región de recubrimiento con nanocapas de una realización específica de un patrón de recubrimiento de la invención;

La FIG. 4A es un patrón de difracción tomado mediante MET que muestra la estructura cristalina cúbica centrada en las caras (CCC) de una realización específica del patrón de recubrimiento resistente al desgaste; y

La FIG. 5 es un gráfico de difracción por rayos X del patrón de recubrimiento resistente al desgaste que muestra la presencia de dos estructuras cristalinas cúbicas centradas en las caras (CCC) (es decir, una estructura Fm-3m con un parámetro de red = 0,4151 nm de acuerdo con la FIG. 5 y una estructura F-43m con un parámetro de red = 0,4368 nm) de acuerdo con la FIG. 5;

Descripción detallada

La FIG. 1 es una vista isométrica de una pieza de inserción de corte designada en general con la referencia 20. La pieza de inserción 20 de corte recubierta comprende un sustrato 22 y un patrón de recubrimiento 24. Una parte del recubrimiento 24 ha sido retirado para exponer el sustrato 22. El patrón de recubrimiento 24 se encuentra en la superficie del sustrato 22 de la pieza de inserción de corte. La pieza de inserción de corte 20 muestra superficies 26 de flancos y superficies 28 de ataque. Los bordes 30 de corte se encuentran en las intersecciones de las superficies 26 de flancos y las superficies 28 de ataque. El sustrato 22 puede ser cualquiera de entre un número de materiales adecuados como sustrato para su uso como una pieza de inserción de corte que incluye, pero no se limita a, los siguientes materiales: acero de corte rápido, carburos cementados que incluyen carburo de tungsteno-cobalto, cerámica incluida la SiAlON y alúmina y nitruro de silicio, cerámica metálica incluyendo materiales a base de carburo de titanio, y materiales superduros incluyendo nitruro de boro cúbico sinterizado y diamante sinterizado.

Las piezas de inserción de corte recubiertas, tales como la pieza de inserción 20 de corte, son de utilidad para la retirada de material en una operación de retirada de material con formación de virutas. Las operaciones de retirada de material con formación de virutas incluyen, sin limitación, fresado, torneado, mandrinado, taladrado y operaciones similares, en donde una pieza de inserción de corte se acopla a una pieza de trabajo, donde la pieza de inserción de corte y pieza de trabajo se desplazan una en relación a la otra. Puede existir una gran cantidad de calor en el punto (o superficie) de acoplamiento entre la pieza de trabajo y la pieza de inserción de corte (es decir, la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta). La transferencia de calor en la interfaz de corte-viruta hacia el sustrato y la interfaz entre el patrón de recubrimiento y el sustrato (es decir, la interfaz de recubrimiento-sustrato) puede resultar perjudicial para el rendimiento de la pieza de inserción de corte. Más específicamente, la transferencia de calor al sustrato y la interfaz de recubrimiento-sustrato, debilita la adhesión del recubrimiento al sustrato, lo que crea un desgaste prematuro excesivo del recubrimiento. Dicho desgaste excesivo del patrón de recubrimiento reduce habitualmente la vida útil de la pieza de inserción de corte.

El patrón de recubrimiento habitualmente influye el grado de transferencia de calor de la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato. Debido a que la transferencia de calor, y especialmente el exceso de calor, al sustrato y a la interfaz de sustrato-recubrimiento resulta perjudicial para la integridad del recubrimiento, es ventajoso un patrón de recubrimiento que muestre propiedades de conductividad térmica general que reduzcan dicha transferencia de calor. Esto se debe a que dicha reducción en la transferencia de calor tiene como resultado habitualmente una vida útil de la herramienta más larga para la pieza de inserción de corte, en comparación con una pieza de inserción de corte recubierta que no muestre una reducción en la transferencia de calor. En las presentes realizaciones, al utilizar secuencias de recubrimiento seleccionadas, el patrón de recubrimiento general muestra propiedades de conductividad térmica generales que minimizan el grado de transferencia de calor de la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta (o superficie de la zona de contacto recubrimiento-viruta) al sustrato e interfaz de recubrimiento-sustrato.

El patrón de recubrimiento específico presenta una estructura de múltiples capas que contienen una o más capas de recubrimiento que contienen aluminio, cromo y nitrógeno (por ejemplo, nitruro de cromo aluminio), el cual presenta una baja conductividad térmica, y una o más capas que contienen titanio, aluminio y nitrógeno (por ejemplo, nitruro de aluminio titanio), el cual presenta una mayor conductividad térmica. La utilización de estas dos capas de recubrimiento, es decir, nitruro de cromo aluminio y nitruro de aluminio titanio, en una disposición (o arquitectura) en particular, tiene como resultado una reducción (o minimización) de la transferencia de calor de la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta hacia el sustrato y la interfaz de recubrimiento-sustrato.

Más específicamente, el uso de la capa de recubrimiento superior de nitruro de cromo aluminio, ayuda a impedir la transferencia de calor desde la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato, debido a la conductividad térmica más baja del nitruro de cromo aluminio. Como resultado, parte del calor permanece en la viruta y no pasa a ni a través de ni hacia el recubrimiento ni hacia el sustrato e interfaz de recubrimiento-sustrato. Por tanto, mientras que existe la apreciación de que el uso de un recubrimiento superior con una baja conductividad térmica proporciona ventajas, el uso de dicha capa en sí misma puede resultar

perjudicial debido a la excesiva concentración de calor en el borde de corte, lo que tiene como resultado fallos en la herramienta en el borde de corte.

5 Para superar la presencia de un exceso de calor en el borde de corte debido a una capa de recubrimiento superior con una conductividad térmica más baja, un patrón de recubrimiento puede presentar una capa de recubrimiento subyacente de nitruro de aluminio titanio, que presenta una conductividad térmica mayor, bajo la capa de nitruro de cromo aluminio. La capa de recubrimiento subyacente se utiliza para disipar el calor en la capa de recubrimiento superior de manera que el calor se propagará en todas las direcciones (por ejemplo, en una dirección perpendicular, además de paralela a la superficie), dentro de la capa de recubrimiento de nitruro de aluminio titanio. Una disipación del calor (o una distribución espacial del calor) de este tipo, elimina la concentración excesiva de calor en el borde de corte.

10 A medida que la transferencia de calor transcurre secuencialmente desde la capa de recubrimiento superior hasta la capa de recubrimiento más interna, las capas de recubrimiento en la secuencia de recubrimiento (o arquitectura de recubrimiento) multicapa-nanocapa, son de tal manera que las capas de recubrimiento de nitruro de cromo aluminio impiden o bloquean la transferencia de calor, y las capas de recubrimiento de nitruro de aluminio titanio disipan o propagan el calor. El resultado del recubrimiento que funciona para bloquear de forma alternativa la transferencia de calor o disipar el calor, tiene como resultado la reducción del calor en el sustrato y en la interfaz de recubrimiento-sustrato. Además, la presencia de otra capa de recubrimiento a base de nitruro de cromo aluminio, que presenta una conductividad térmica más baja, entre el sustrato y la capa base, ayuda a proteger el sustrato y la interfaz de recubrimiento-sustrato contra la transferencia de calor. La reducción en la transferencia de calor al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato, da como resultado una reducción (o minimización) o retraso de la formación de grieta térmica dentro del sustrato. El retraso o reducción de fisuras de origen térmico en el sustrato aumenta habitualmente la vida útil de la pieza de inserción de corte.

15 La FIG. 2 ilustra, en forma de corte transversal, una realización específica del patrón de recubrimiento resistente al desgaste designado en general con la referencia 40 de la invención. La deposición física en fase vapor (PVD) es la técnica utilizada para aplicar un patrón de recubrimiento 40. El patrón de recubrimiento 40 resistente al desgaste comprende una sub-capa 42, que contiene aluminio, cromo y nitrógeno. El patrón de recubrimiento 40 además contiene una capa 46 superior, que contiene aluminio, cromo y nitrógeno. Cada una de entre la sub-capa 42 y la capa superior 46, muestra una conductividad térmica más baja, tal como se trata anteriormente. El patrón de recubrimiento 40 también contiene un patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad (ver la llave 44), que contiene titanio, aluminio, cromo y nitrógeno. El patrón de recubrimiento 40 resistente al desgaste presenta un grosor de recubrimiento A igual a entre aproximadamente 1500 nanómetros y aproximadamente 15.000 nanómetros. Las diferentes capas de recubrimiento en el patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, pueden ser de diferentes composiciones que tengan diferentes conductividades. Disponiendo de forma selectiva las capas de recubrimiento en el patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, se logra una arquitectura de recubrimiento que funciona para de forma alternativa bloquear la transferencia de calor o disipar calor, lo que tiene como resultado la reducción del calor en el sustrato y en la interfaz de sustrato recubrimiento.

20 El patrón de recubrimiento también incluye una capa 43 inferior de recubrimiento de transición que se encuentra encima de la sub-capa 42. La capa 43 inferior de recubrimiento de transición proporciona una transición entre la sub-capa 42 hacia el patrón de recubrimiento 44 de nanocapas intermedias con multi-periodicidad. Existe una capa 45 de recubrimiento superior de transición que proporciona una transición entre el patrón de recubrimiento 44 y la capa superior 46.

25 En esta realización específica, la sub-capa 42 se encuentra más cerca del sustrato y la capa superior 46 se encuentra más alejada del sustrato. El patrón de recubrimiento 44 de nanocapas intermedias con multi-periodicidad se encuentra en medio de la capa de recubrimiento 43 inferior de transición y la capa de recubrimiento 45 superior de transición. Debe apreciarse que otras sub-capas (o múltiples capas de recubrimiento) podrían situarse entre la sub-capa 42 y la superficie del sustrato. Debe apreciarse también que una capa de recubrimiento superior (o patrón de capa de recubrimiento superior de múltiples capas de recubrimiento), podría encontrarse en la parte superior de la capa superior 46.

30 La sub-capa 42 muestra un grosor de sub-capa B, que se encuentra en un rango de aproximadamente 20 nanómetros y aproximadamente 500 nanómetros. La capa superior 46 muestra un grosor D de la capa superior, que se encuentra en un rango entre aproximadamente 300 nanómetros y aproximadamente 2000 nanómetros. Más preferiblemente, el grosor de la capa superior 46 es mayor de 500 nanómetros para lograr una barrera óptima térmica. La sub-capa 42 tiene una composición de $(Al_aCr_{1-a})N$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$, y una composición de mayor preferencia de $0,5 \leq a \leq 0,69$. La capa superior 46 tienen una composición de $(Al_aCr_{1-a})N$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$, y una composición de mayor preferencia de $0,5 \leq a \leq 0,69$.

35 En referencia al patrón de recubrimiento 44 de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, comprende una pluralidad de conjuntos de disposiciones de capas alternas (ver llaves 50, 52, 54, 56, 58, 60 y 62). Debe apreciarse

que el número de disposiciones de capas alternas como las indicadas bajo la llave 50 puede variar dependiendo de la aplicación específica de la pieza de inserción de corte. En referencia a la disposición 50 de capa alterna, que es representativa de otras disposiciones de capas alternas, la disposición 50 contiene una capa base 64, que comprende titanio, aluminio y nitrógeno. La disposición 50 de capas alternas además comprende una región de nanocapas (ver llave 66).

En referencia a la FIG. 2A, la región 66 de nanocapas comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas (68, 70, 72, 74, 76 y 78) en donde una nanocapa 82 comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y otra nanocapa 84 comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno. Los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno la nanocapa 82 pueden ser, y habitualmente son al menos para uno de los elementos, diferentes de los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno en la otra nanocapa 84. Hay cromo presente en ambas nanocapas, y una nanocapa del conjunto de nanocapas alternas en la región de nanocapas comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa del conjunto de nanocapas alternas en la región de nanocapas comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,65$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$.

La región 66 de nanocapas tiene un grosor F de región de nanocapas que es igual a entre aproximadamente 100 nanómetros y aproximadamente 900 nanómetros. Además, para cada conjunto de nanocapas alternas (68, 70, 72, 74, 76, 78) las nanocapas alternas (82, 84) en el mismo presentan una periodicidad que se encuentra en un rango entre aproximadamente 2 nanómetros y aproximadamente 50 nanómetros. La capa 64 base tiene un grosor G de capa base, que se encuentra en un rango entre aproximadamente 100 nanómetros y aproximadamente 500 nanómetros. La capa 64 base tiene una composición de $(Ti_yAl_{1-y})N$ y en donde $0,2 \leq y \leq 0,65$, y más preferiblemente $0,3 \leq y \leq 0,6$. El grosor G de la capa base es menor que la región de nanocapas de grosor F.

En referencia a la capa de recubrimiento 43 inferior de transición, esta capa de recubrimiento 43 comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas como la región 66. Una nanocapa inferior de transición comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y otra nanocapa inferior de transición comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno. Los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno en la nanocapa inferior de transición pueden ser, y habitualmente son al menos para uno de los elementos, diferentes de los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno en la otra nanocapa inferior de transición. Hay cromo presente en ambas nanocapas inferiores de transición, donde una nanocapa inferior de transición comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$ en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa inferior de transición comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$ en donde $0,2 \leq p \leq 0,65$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$. El grosor de la capa de recubrimiento inferior de transición se encuentra en un rango entre aproximadamente 50 nanómetros y aproximadamente 200 nanómetros. Además, para cada conjunto de nanocapas alternas, las nanocapas alternas en el mismo presentan una periodicidad que se encuentra en un rango entre aproximadamente 2 nanómetros y aproximadamente 50 nanómetros.

En referencia a la capa de recubrimiento 45 superior de transición, esta capa de recubrimiento 45 comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas superiores de transición como la región 66. Una nanocapa superior de transición comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y otra nanocapa superior de transición comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno. Los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno en la nanocapa superior de transición pueden ser, y habitualmente son al menos para uno de los elementos, diferentes de los contenidos de aluminio, cromo, titanio y nitrógeno en la otra nanocapa superior de transición. Hay cromo presente en ambas nanocapas superiores de transición, donde una nanocapa superior de transición comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa superior de transición comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,65$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$. El grosor de la capa de recubrimiento superior de transición se encuentra en un rango de entre aproximadamente 50 nanómetros a aproximadamente 200 nanómetros. Además, para cada conjunto de nanocapas alternas, las nanocapas alternas en los mismos presentan una periodicidad en un rango entre aproximadamente 2 nanómetros y aproximadamente 50 nanómetros.

La sub-capa 42 presenta una conductividad térmica de la sub-capa. La capa base 64 presenta una conductividad térmica de la capa base. La conductividad térmica de la sub-capa es menor que la conductividad térmica de la capa base. La capa superior 46 presenta una conductividad térmica de la capa superior en donde la conductividad térmica de la capa superior es menor que la conductividad térmica de la capa base.

Debe apreciarse que puede añadirse carbono al nitrógeno en las composiciones anteriores para la sub-capa, la capa superior, y el patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad. En una situación de este tipo, la sub-capa presenta una composición de $(Al_aCr_{1-a})C_sN_t$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$ (y más preferiblemente $0,5 \leq a \leq 0,69$), y $s + t = 1$. La capa superior presenta una composición de $(Al_aCr_{1-a})C_sN_t$ en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$ (y más preferiblemente $0,5 \leq a \leq 0,69$) y $s + t = 1$. En referencia al conjunto de disposiciones de capas alternas (por ejemplo, 50), la capa base tiene una composición de $(Ti_yAl_{1-y})C_sN_t$ y en donde $0,2 \leq y \leq 0,65$ (y más preferiblemente $0,3 \leq y \leq 0,6$) y $s + t = 1$. En otra situación en la que ambas nanocapas contienen cromo, la nanocapa del conjunto de nanocapas alternas en la región de nanocapas comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})C_sN_t$ en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$ y $s + t = 1$, y la otra nanocapa del conjunto de nanocapas alternas en la región de nanocapas comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})C_sN_t$ en donde $0,2 \leq p \leq 0,5$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$ y $s + t = 1$.

La Tabla 1 expone las dimensiones habituales de un patrón de recubrimiento como el expuesto en las FIGS. 2 y 2A.

Tabla 1

| Dimensiones habituales para el patrón de recubrimiento de las FIGS. 2 y 2A | | | |
|--|---|---------|--------------------|
| Dimensión | Descripción | Ejemplo | Rango (nanómetros) |
| A* | grosor global del patrón de recubrimiento | 5120 | 1500-15.000 |
| B | grosor de sub-capa (42) | 200 | 20-500 |
| C* | Grosor del patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad | 4160 | 1000-11.000 |
| D | grosor de capa superior (46) | 600 | 300-2000 |
| E | grosor de la disposición (50) de capas alternas [grosor combinado de la región (66) de nanocapas y la capa base (64)] | 520 | 200-1400 |
| F | grosor de la región (66) de nanocapas | 350 | 100-900 |
| G | grosor de la capa base (64) | 170 | 100-500 |
| H | grosor de un par (68) de nanocapas alternas | 4** | 2-50 |
| I | grosor de una nanocapa (82) | 1,3** | 1-16 |
| J | grosor de otra nanocapa (84) | 2,7** | 1-34 |
| X | grosor de la capa de recubrimiento (43) inferior de transición | 80 | 50-200 |
| Y | grosor de la capa de recubrimiento (45) superior de transición | 80 | 50-200 |
| * El grosor global (A) del patrón de recubrimiento puede ser controlado controlando el grosor de la capa (C) intermedia con multi-periodicidad, que puede ser controlado cambiando el número de capas repetidas. | | | |
| **Medido mediante análisis de microscopía electrónica por transmisión (MET). | | | |

5 La FIG. 3 muestra una microfotografía (con una escala de 10 mm) tomada mediante un microscopio óptico de una realización específica de un patrón de recubrimiento de la invención (Muestra Nº 1 de la invención) que muestra el borde de corte de esquina de una pieza de inserción de corte recubierta. El sustrato comprende carburo de tungsteno cementado (cobalto) que presenta una composición de cobalto en un porcentaje en peso de aproximadamente 10,5, titanio en un porcentaje en peso de aproximadamente 5,4, y niobio en un porcentaje en peso de aproximadamente 3,1, donde la diferencia son granos de carburo de tungsteno. El sustrato presenta las siguientes propiedades: una densidad (medida de acuerdo con el procedimiento en el estándar ASTM B311) igual a aproximadamente 12,3 gramos por centímetro cúbico, una fuerza coercitiva (HC) (medida según el estándar ASTM B887) igual a aproximadamente 180 oersteds, un tamaño de grano (determinado en referencia a la gráfica comparativa en el estándar ASTM B390) igual a aproximadamente 1-6 micrómetros, y una dureza igual a aproximadamente 91,5 Rockwell A. La FIG. 3 muestra que el patrón resistente al desgaste comprende una sub-capa que es de un grosor igual a aproximadamente 200 nanómetros y tiene una composición de aluminio y cromo y nitrógeno. El patrón de recubrimiento resistente al desgaste también tiene una capa que es de un grosor igual a aproximadamente 600 nanómetros y tiene una composición de aluminio y cromo y nitrógeno.

20 Aún en referencia a la FIG. 3, el patrón de recubrimiento resistente al desgaste también presenta un patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, que se encuentra en medio de la capa superior de transición y la capa inferior de transición. El patrón de recubrimiento de nanocapas intermedias con multi-periodicidad comprende una pluralidad de disposiciones de capas alternas en donde cada una de las disposiciones de capas alternas comprende una capa base que comprende titanio, aluminio y nitrógeno, y una región de nanocapas que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno y otra capa comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno.

25 Para cada disposición de capa alterna de las que hay ocho, la capa base presenta un grosor de aproximadamente 170 nanómetros, y la región de nanocapas presenta un grosor igual a aproximadamente 350 nanómetros. El grosor

total del patrón de recubrimiento resistente al desgaste es igual a aproximadamente 5120 nanómetros (es decir, 200nm + 80nm + 8x(170nm +350nm) + 80nm + 600nm). En la región de nanocapas, el grosor total para cada conjunto de capas alternas es igual a aproximadamente 4 nanómetros, de manera que el grosor total de la Región TiAlCrN (pobre en Cr) y la Región AlCrTiN (rica en Cr) es igual a aproximadamente 4 nanómetros. La relación del grosor de la Región TiAlCrN (pobre en Cr) y la Región AlCrTiN (rica en Cr), es decir, la Región TiAlCrN (pobre en Cr):Región AlCrTiN (rica en Cr), es igual a aproximadamente 2:1.

La FIG. 4 muestra una microfotografía (con una escala de 10 nm) tomada mediante microscopía electrónica por transmisión (MET) en la región de nanocapas de a muestra N° 1 de la invención. La química de la región de nanocapas de la Muestra N° 1 de la Invención se expone en la Tabla 2.

10 Tabla 2

| Composición metálica elemental de la Región de nanocapas de la Muestra N° 1 de la Invención en relación atómica | | |
|---|---|--|
| Región/Elemento | Región TiAlCrN (pobre en Cr) (Relación Atómica) | Región AlCrTiN (rica en Cr) (Relación Atómica) |
| Aluminio | 0,483 | 0,519 |
| Titanio | 0,494 | 0,354 |
| Cromo | 0,023 | 0,127 |

15 La FIG. 4A muestra un patrón de difracción de un área seleccionada, tomado mediante MET que muestra la estructura cristalina cúbica centrada en las caras (CCC) de la Muestra N° 1 de la Invención, del patrón de recubrimiento resistente al desgaste. Esto resulta evidente a partir de las características en relación a los diámetros de los anillos del patrón de difracción.

La FIG. 5 muestra un patrón de difracción de rayos x del patrón de recubrimiento resistente al desgaste de la Muestra N° 1 de la invención, que muestra la presencia de dos estructuras cristalinas cúbicas centradas en las caras (CCC). Los conteos se exponen a lo largo del eje vertical y la posición (2 Theta) se expone a lo largo del eje horizontal.

20 Un aparato de recubrimiento preferido de utilidad para la aplicación del patrón de recubrimiento se muestra y se describe en la Patente Europea N° 1 186 681, además de en la Patente de EE.UU. N° 7,025,863 de Seeli et al.

Respecto a la aplicación de realizaciones específicas del patrón de recubrimiento resistente al desgaste mediante el sistema PVD mencionado anteriormente, la deposición de los recubrimientos Ti-Al-(X)-N/Al-Cr-(X)-N multicapa, se realizaron utilizando un sistema de recubrimiento industrial (Tipo RCS, INNOVA) de la compañía Oerlikon Balzers Coating. Una descripción de este sistema de recubrimiento se describe en la Patente Europea N° 1 186 681 de la Fig. 3 a la 6 con una descripción escrita en a columna 7, línea 18 a la columna 9, línea 25. El equivalente de Estados Unidos a la anterior patente Europea es la patente de EE.UU. N° 7,025,863 de Seeli et al., y el correspondiente texto se encuentra en la columna 6, línea 22 a la Columna 7, línea 54.

30 Para producir estos recubrimientos se montaron piezas limpias, especialmente piezas de inserción de carburo, en relación a su diámetro, bien utilizando una rotación doble o triple en una cinta continua con el sustrato y cuatro Ti-Al-diana fabricados por procedimientos de metalurgia por fusión y dos Al-Cr-(X)-diana fabricados por pulvimetalurgia, que fueron situados en seis fuentes de arco catódico en las paredes laterales de la cámara de recubrimiento. La geometría de la disposición de las dianas está definida principalmente por el diseño octogonal del sistema de recubrimiento RCS (Oerlikon Balzers) en el que dos segmentos de calentamiento dispuestos uno frente al otro separan dos grupos de segmentos que presentan tres cátodos de arco dispuestos consecutivos. Para los presentes experimentos, se montó un Al-Cr-diana opuesto en cada posición central de un segmento, pero diversas disposiciones de dianas fundamentales pueden utilizarse para la deposición de este tipo de recubrimientos. Al menos han de ser utilizados dos cátodos de arco en una posición geoméricamente equivalente para depositar estos recubrimientos.

40 Posteriormente, las piezas, que deberían ser recubiertas, se calentaron hasta aproximadamente 500 °C utilizando hornos de radiación que se encuentran montados de forma permanente en el sistema de recubrimiento. Después del paso de calentamiento, se limpió la superficie de las piezas por ataque químico con Argón utilizando una tensión de polarización de CC de -100 a -250V en atmósfera de Argón a una presión de 0,2 Pa.

45 A continuación se utilizaron dos fuente de Al-Cr, que utilizan una potencia de 3 kW y una tensión de polarización del sustrato de -40V durante un tiempo de aproximadamente 18 minutos, para formar una sub-capa de Al-Cr-N con un

5 grosor de aproximadamente 0,2mm. A continuación, dos Al-Cr-diana y cuatro Ti-Al-diana se utilizaron para depositar la capa inferior de transición de Ti-Al-Cr-N durante dos minutos. Después, se depositó un recubrimiento de disposición de capa alterna, donde se utilizaron en primer lugar cuatro Ti-Al-fuente a una potencia de aproximadamente 5 kW durante aproximadamente 5 minutos, y en segundo lugar las dos Al-Cr- fuente se encendieron adicionalmente a las cuatro Ti-Al-fuente que se encuentran funcionando, de tal manera que se formó una capa de Ti-Al-Cr-N. Todas las seis fuentes juntas se hicieron funcionar durante aproximadamente 7 minutos. Para la realización existente se repitió este paquete de capas varias veces para obtener un grosor de recubrimiento determinado de la nanocapa de multi-periodicidad intermedia completada. A continuación, dos Al-Cr-diana y cuatro Ti-Al-diana se utilizaron para depositar la capa superior de transición de Ti-Al-Cr-N durante dos minutos. Al final, nuevamente, se depositó una capa superior de Al-Cr-N, utilizando los mismos parámetros que para la sub-capa y un tiempo de recubrimiento de aproximadamente 60 minutos, con un grosor de 0,6 mm. Todos los recubrimientos se depositaron en atmósfera de nitrógeno a una presión de aproximadamente 3 Pa y una tensión de polarización de aproximadamente -40V. En general, la presión de trabajo para cada capa individual puede encontrarse en el rango de 0,5 a 8 Pa, pero se prefiere entre 0,8 y 5 Pa. Para la deposición de nitruros puede emplearse una atmósfera de nitrógeno puro o una mezcla de nitrógeno y un gas noble, como argón, mientras que, puede utilizarse una mezcla de nitrógeno y un gas que contenga carbono para la deposición de carbonitruros. Además, para la producción de películas de oxígeno o boro, pueden mezclarse gases que contienen oxígeno o boro en el proceso de recubrimiento.

Los siguientes ejemplos demuestran la utilidad y rendimiento de la pieza de inserción de corte recubierta, además del patrón de recubrimiento.

20 El ensayo 1 comprende un ensayo de seis piezas de inserción de corte etiquetadas como Experimentos del 1 al 6. Los experimentos del 1 al 5 representan piezas de inserción de corte recubiertas reales del estado del arte en el mercado comercial. El ensayo 1 compara el rendimiento del fresado frontal de alta velocidad en aceros de aleación utilizando una pieza de inserción de carburo cementado de la siguiente geometría: SDPT1204PDSR2. El material de la pieza de trabajo es acero 4140 de aleación (DIN 1.7225, 42CrMo4). Los parámetros de corte se exponen a continuación: velocidad de corte $v_c = 300$ m/min; velocidad de alimentación $f_z = 0,2$ mm/diente; profundidad de corte $a_p = 4$ mm; ancho de corte $a_e = 61$ mm; longitud de paso $l = 610$ mm; refrigerante: seco; y criterio de desgaste: $v_{b,max} = 0,3$ mm. Los resultados del ensayo se muestran en la Tabla 3 a continuación.

Tabla 3

| Resultados del ensayo en fresado frontal de alta velocidad en aceros de aleación para el Ensayo 1 | | |
|---|-------------------------------------|------------------|
| Nº Experimento / Descripción del recubrimiento | Grosor del recubrimiento [μ m] | Número de pases* |
| 1 TiN + TiCN + TiN (PVD basada en TiCN) | 3,5 | 4 |
| 2 TiN + AlTiN + TiN (PVD basada en AlTiN) | 4,0 | 1 |
| 3 TiN + TiCN + CVD-kappa-Al ₂ O ₃ | 6,5 | 3,5 |
| 4 TiN + TiCN + CVD-alfa-Al ₂ O ₃ | 6,1 | 5 |
| 5 TiN + TiCN + Al ₂ O ₃ + TiN (CVD) | 9,9 | 4,5 |
| 6 AlCrN +TiAlN/AlCrN-multilayer + AlCrN | 5,0 | 9,5 |
| *a un criterio de desgaste de $v_{b,max} = 0,3$ mm. | | |

30 El ensayo 1 muestra una comparación del tiempo de vida de las piezas de inserción de carburo cementado recubiertas en una aplicación de corte a alta velocidad. Estos resultados muestran que el experimento 6 muestra un aumento en el tiempo de vida en un factor mayor que dos en comparación con el valor de referencia de la herramienta comercial del Experimento 1.

35 El ensayo 2 comprende un ensayo de cinco piezas de inserción de corte recubiertas (Experimentos del 7 al 11). Los experimentos 8-11 representan piezas de inserción de corte que presentan otros patrones de recubrimiento sobre las mismas. La composición, recubrimiento, grosor, adhesión y micro-dureza de la diana de los experimentos del 7 al 11, se presentan en la Tabla 4. Los parámetros del proceso tales como potencia, tensión de polarización del sustrato, presión de trabajo y temperatura de deposición de la diana se muestran en la Tabla 5. El ensayo 2 comprende el fresado frontal de alta velocidad en acero de aleación utilizando piezas de inserción de carburo cementado de la siguiente geometría: SDPT1204PDSR2. El material de la pieza de trabajo es un acero de aleación 4140 (DIN 1.7225, 42CrMo4). Los parámetros de corte son los siguientes: velocidad de corte $v_c = 300$ m/min; velocidad de alimentación $f_z = 0,2$ mm/diente; profundidad de corte $a_p = 4$ mm; ancho de corte $a_e = 61$ mm; longitud de paso $l = 610$ mm; refrigerante: seco; y criterio de desgaste: $v_{b,max} = 0,3$ mm. Los resultados del ensayo para el ensayo 2 se muestran en la Tabla 6 a continuación.

Tabla 4

| Composiciones de la diana y propiedades de recubrimiento resultantes | | | | | | | | |
|--|-------------------------|--------|---------|--------|---------|--------------------------|-----------|----------------------|
| Nº de Experimento | Composición de la diana | | | | | grosor del recubrimiento | Adhesión* | microdureza [HV0,03] |
| | Diana 1 | | Diana 2 | | | | | |
| | Al en% | Cr en% | Ti en% | Al en% | X en% | | | |
| 7 | 70 | 30 | 50 | 50 | - | 5 | HF1 | 2609 |
| 8 | 70 | 30 | 50 | 50 | - | 4,9 | HF1 | 2690 |
| 9 | 70 | 30 | 45 | 45 | Si = 10 | 4,8 | HF1 | 2635 |
| 10 | 70 | 30 | 20 | 65 | Cr = 15 | 5,1 | HF1 | 2846 |
| 11 | 70 | 30 | 42,5 | 42,5 | Cr = 15 | 4,9 | HF1 | 2466 |

*según se mide por las Directrices de la Asociación de ingenieros alemanes (Union of German Engineers' Guidelines) VDI3198 y VDI3824-4

Tabla 5

| Parámetros del proceso experimental | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--------------|---------------|----------|------------|
| Nº de Experimento | PDiana1 [kW] | PDiana2 [kW] | USustrato [V] | pN2 [Pa] | Temp. [°C] |
| 7 | 3 | 5 | -40 | 3 | 500 |
| 8 | 3 | 5 | -40 | 3 | 500 |
| 9 | 3 | 5 | -40 | 3 | 500 |
| 10 | 3 | 3 | -40 | 3 | 500 |
| 11 | 3 | 5 | -40 | 3 | 500 |

5

Tabla 6

| Resultados del ensayo en fresado frontal de alta velocidad en aceros de aleación para el Ensayo 2 | | |
|---|-------------------------------|--------------------|
| Nº Experimento / Descripción del recubrimiento | Grosor del recubrimiento [µm] | Número de pases*** |
| 7 AlCrN + TiAlN/AlCrN-multicapa + AlCrN * | 5 | 9,5 |
| 8 AlCrN + TiAlN/AlCrN-multicapa + AlCrN** | 5 | 5 |
| 9 AlCrN + TiAlSiN/AlCrN-multicapa + AlCrN | 5 | 7 |
| 10 AlCrN + AlTiCrN/AlCrN-multicapa + AlCrN | 5 | 8 |
| 11 AlCrN + TiAlCrN/AlCrN-multicapa + AlCrN | 5 | 5,5 |

*el recubrimiento en el experimento 7 es el mismo que en el experimento 6.
 **En el experimento 8, se utilizan cuatro AlCr diana y dos TiAl diana, mientras que en el experimento 7 se utilizan dos AlCr diana y cuatro TiAl diana.
 *** a un criterio de desgaste de $v_{b,max} = 0,3$ mm.

10 Resulta evidente que en los Experimentos 7 al 11 se utilizaron diversos materiales diana para depositar diferentes tipos de recubrimientos multi-capa. Ya pudieron observarse mejoras en comparación con los recubrimientos de referencia (ver el Experimento 1 en el Ejemplo 1), pero el recubrimiento (Experimento 7) mostró el rendimiento más prometedor.

5 El ensayo 3 comprende un ensayo de dos piezas de inserción de corte recubiertas (es decir, Experimentos 12 y 13) en el fresado frontal en acero al carbono. Las piezas de inserción de corte recubiertas eran piezas de inserción de carburo cementado que presentaban la siguiente geometría: SDMT1205PDR-HQM. El material de la pieza de trabajo era acero al carbono 1045 (DIN 1.1191, Ck45). Los parámetros de corte fueron los siguientes: velocidad de corte $v_c = 350$ m/min; velocidad de alimentación $f_z = 0,2$ mm/diente; profundidad de corte $a_p = 4$ mm; refrigerante: seco; y criterio de desgaste: $v_{b,max} = 0,3$ mm. La Tabla 7 presenta los resultados del ensayo.

Tabla 7

| Resultados del ensayo en fresado frontal en acero al carbón para el ensayo 3 | | | |
|---|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Nº de Experimento / Descripción del recubrimiento | Tiempo de vida [min] | Desgaste por entalladura [mm] | Desgaste de la esquina [mm] |
| 12 AlCrN+TiAlN/AlCrN-multicapa+AlCrN * | 21,6 | 0,29 | 0,14 |
| 13 TiN + TiAlN** | 8,2 | 0,31 | 0,14 |
| *el recubrimiento en el experimento 12 es el mismo que en el experimento 6 y 7. | | | |
| ** recubrimiento del estado del arte disponible en esta herramienta en el mercado | | | |

10 En el Ensayo 3, una pieza de inserción de corte recubierta (Experimento 12) se sometió a ensayo contra la pieza de inserción de corte recubierta del estado del arte (Experimento 13). Un aumento significativo de 2,6 veces en el tiempo de vida pudo observarse en este ensayo de corte. El desgaste máximo se observó como un desgaste por entalladura en el flanco de la herramienta.

15 El ensayo 4 comprende un ensayo de tres piezas de inserción de corte recubiertas (Experimentos 14-16) en el fresado frontal en acero de aleación utilizando una pieza de inserción de carburo cementado de la siguiente geometría: SDMT1205PDR-HQ-M. El material de la pieza de trabajo es un acero de aleación 4140 (DIN 1.7225, 42CrMo4). Los parámetros de corte son los siguientes: velocidad de corte $v_c = 180$ m/min; velocidad de alimentación $f_z = 0,2$ mm/diente; profundidad de corte $a_p = 4$ mm; refrigerante: seco; y criterio de desgaste: $v_{b,max} = 0,3$ mm.

La Tabla 8 presenta los resultados del Ensayo 4.

Tabla 8

| Resultados del ensayo en fresado frontal en acero de aleación del ensayo 4 | | | |
|---|----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| Nº de Experimento / Descripción del recubrimiento | Tiempo de vida [min] | Desgaste por entalladura [mm] | Desgaste de la esquina [mm] |
| 14 AlCrN +TiAlN/AlCrN-multicapa+AlCrN* | 11,9 | 0,286 | 0,3 |
| 15 TiN + TiAlN** | 6,2 | 0,314 | 0,3 |
| 16 TiN + TiAlN** | 6,3 | 0,266 | 0,3 |
| *el recubrimiento en el experimento 14 es el mismo que en el experimento 6, 7 y 12. | | | |
| ** recubrimiento del estado del arte disponible en esta herramienta en el mercado | | | |

20 El resultado del Ensayo 4 muestra nuevamente una comparación de la pieza de inserción de corte (es decir, el Experimento 14) contra el recubrimiento estándar disponible en este tipo de piezas de inserción en el mercado (Experimentos 15 y 16). Este ensayo se realizó a velocidades de corte moderadas. Pudo detectarse un aumento del rendimiento del ochenta y nueve por ciento (89%) en comparación con el Experimento 16. En este ensayo pudo observarse el máximo desgaste en la esquina de la herramienta de corte.

30 El ensayo 5 comprende un ensayo de cuatro piezas de inserción de corte en una perforación a alta velocidad media en fundición con grafito laminar utilizando piezas de inserción de perforación de carburo cementado modulares de estilo KSEM. El material de la pieza de trabajo era de fundición con grafito laminar de la clase 40 (~250 BHN). Los parámetros de corte fueron los siguientes: velocidad de corte $v_c = 198$ m/min; velocidad de alimentación $f_z = 0,35$ mm/diente; diámetro de perforación = 12,5 mm; profundidad del orificio = 62 mm; refrigerante: emulsión sintética Castrol Syntilo, con el modo de distribución mediante enfriamiento de la herramienta con presión de 15 bar. El criterio de desgaste fue $v_{b,max} = 0,38$ mm. Los resultados se muestran en la Tabla 9 a continuación.

Tabla 9

| Resultados del ensayo en perforado de alta velocidad media para el Ensayo 5 | | |
|---|--------------------------------|-----------------------------|
| Nº Experimento / Descripción del recubrimiento | longitud del recubrimiento [m] | Desgaste de la esquina [mm] |
| 17 AlCrN + TiAlN/AlCrN-multicapa + AlCrN | 73,9 | 0,5 |
| 18 TiN + TiAlN | 45,4 | 0,74 |
| 19 AlTiN | 45,4 | 0,75 |
| 20 TiN / TiAlN nanocapa | 34,1 | 0,73 |

5 Los resultados del Ensayo 5 muestran nuevamente una comparación de la pieza de inserción de corte (Experimento 17) contra el recubrimiento disponible estándar en este tipo de piezas de inserción modulares para la perforación en el mercado (Experimentos 18-20). Este ensayo se realizó a velocidades medias de corte altas. Pudo detectarse un aumento en el rendimiento de cerca del sesenta y tres por ciento (63%). En este ensayo, pudo observarse el máximo desgaste en la esquina de la herramienta de corte.

10 Resulta evidente que el patrón de recubrimiento resistente al desgaste de la presente invención muestra ventajas sobre los patrones de recubrimiento anteriores. En particular, el patrón de recubrimiento resistente al desgaste de la presente invención muestra una conductividad térmica más baja utilizando secuencias de recubrimiento y composiciones de recubrimiento seleccionadas. Dichos parámetros afectan la conductividad térmica de todo el recubrimiento, y por tanto, ejercen una influencia en el grado de transferencia de calor desde la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta (o zona de contacto viruta-superficie de recubrimiento) al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato. La reducción de la transferencia de calor al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato tiene como resultado una reducción (o minimización) o retraso de la formación de fisuras térmicas dentro del sustrato. El retraso o reducción de la formación de fisuras térmicas en el sustrato aumenta habitualmente la vida útil de la pieza de inserción de corte.

20 Más específicamente, es evidente que el uso de la capa de recubrimiento de nitruro de cromo aluminio ayuda a impedir la transferencia de una cantidad significativa de calor desde la interfaz de la pieza de inserción de corte-viruta al sustrato y a la interfaz de recubrimiento-sustrato. Un resultado es que gran parte del calor permanece en la viruta. Otro resultado es que el calor que se transfiere a la capa de recubrimiento superior se propagará en todas las direcciones dentro de la capa de recubrimiento de nitruro de aluminio titanio ya que el transporte de calor tiene lugar en todas las direcciones (por ejemplo, en una dirección perpendicular, además de paralela a la superficie). Esto reduce la concentración de calor generado en el área de contacto del recubrimiento superior-viruta cerca del borde de corte, disipando el calor sobre un área de superficie mayor y reduciendo la temperatura del recubrimiento superior hasta la interfaz de sustrato-recubrimiento. La combinación de las capas de recubrimiento en la secuencia multicapa-nanocapa dentro de la capa base es de tal manera que la transferencia de calor se bloquea de forma alternativa o se propaga desde el sustrato. Finalmente, la presencia de otra capa de recubrimiento de nitruro de cromo aluminio entre el sustrato y la capa base, ayuda a proteger el sustrato y la interfaz de recubrimiento-sustrato contra la transferencia de calor.

REIVINDICACIONES

1. Artículo recubierto, en particular una pieza de inserción de corte para su uso en una operación de retirada de material con formación de virutas, donde el artículo comprende:

5 un sustrato (22) y un patrón de recubrimiento (40) resistente al desgaste, en donde el patrón de recubrimiento (40) resistente al desgaste comprende:

un patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que contiene titanio, aluminio, cromo y nitrógeno; y

10 el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que comprende una pluralidad de conjuntos de disposiciones (50) de capas alternas, en donde cada una de las disposiciones de capas alternas comprende una capa base (64) que comprende titanio, aluminio y nitrógeno, y una región (66) de nanocapas que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas alternas (68, 70, 72) en donde cada conjunto de nanocapas alternas comprende una nanocapa (82) que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno y otra nanocapa (84) que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno.

15 **caracterizado porque** dicha capa base (64) presenta un grosor (G) de capa base y la región (66) de nanocapas presenta un grosor (F) de región de nanocapas, donde el grosor de la capa base es menor que el grosor de la región de nanocapas, y en donde la capa base (64) comprende $(Ti_yAl_{1-y})N$, en donde $0,2 \leq y \leq 0,65$ y la nanocapa (82) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa (84) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,65$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$.

2. El artículo recubierto según la reivindicación 1, en donde el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad además comprende carbono, y la capa base (64) comprende $(Ti_yAl_{1-y})C_sN_t$, en donde $0,2 \leq y \leq 0,65$ y $s + t = 1$, la nanocapa (82) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})C_sN_t$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$ y $s + t = 1$, y la otra nanocapa (84) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})C_sN_t$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,5$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$ y $s + t = 1$.

3. El artículo recubierto según la reivindicación 1 o 2, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde el patrón de recubrimiento (40) resistente al desgaste además incluye:

30 una sub-capa (42) que contiene aluminio, cromo y nitrógeno, en particular en donde la sub-capa (42) además comprende carbono según la fórmula $(Al_aCr_{1-a})C_sN_t$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$, y $s + t = 1$;

una capa superior (46) que contiene aluminio, cromo y nitrógeno, en particular en donde la capa superior (46) además incluye carbono según la fórmula $Al_aCr_{1-a}C_sN_t$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$, y $s + t = 1$;

en donde la sub-capa (42) está más cerca del sustrato (22) que la capa superior (46);

35 una región (43) inferior de recubrimiento de transición que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas de transición inferiores alternas en donde cada conjunto de nanocapas de transición inferiores alternas comprende una nanocapa inferior de transición que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno y otra nanocapa inferior de transición que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y la región (43) inferior de recubrimiento de transición que proporciona una transición entre el patrón de recubrimiento (44) inferior de nanocapas intermedias con multi-periodicidad y la sub-capa (42);

40 una región (45) superior de recubrimiento de transición que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas superiores de transición alternas, en donde cada conjunto de nanocapas alternas comprende una nanocapa superior de transición que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y otra nanocapa superior de transición que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno, y donde la región (45) superior de recubrimiento de transición proporciona una transición entre el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad y la capa superior (46); y

45 donde el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad se encuentra en medio de la región (43) inferior de recubrimiento de transición y la región (45) superior de recubrimiento de transición.

4. Artículo recubierto según la reivindicación 3, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde la región (43) inferior de recubrimiento de transición presenta un grosor de transición inferior, la región (45) de recubrimiento de transición superior presenta un grosor de transición superior y en donde el grosor de transición

inferior es menor que el grosor (F) de la región de nanocapas, y el grosor de transición superior es menor que el grosor (F) de la región de nanocapas.

5. Artículo recubierto según la reivindicación 3 o 4, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde la sub-capa (42) presenta un grosor de sub-capa que se encuentra en un rango entre 20 nm y 500 nm, y la capa superior (46) presenta un grosor de capa superior que se encuentra en un rango entre 300 nm y 2000 nm; donde cada conjunto de disposiciones de capas alternas tiene un grosor que se encuentra en un rango entre 200 nm y 1400 nm; y donde los conjuntos de nanocapas alternas (68, 70, 72) presentan una periodicidad en un rango entre 2 nm y 50 nm.

6. Artículo recubierto según la reivindicación 3, 4 o 5, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde:

la sub-capa (42) comprende $(Al_aCr_{1-a})N$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$;

la capa superior (46) comprende $(Al_aCr_{1-a})N$, en donde $0,2 \leq a \leq 0,7$;

donde la nanocapa de transición superior comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa de transición superior que comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,5$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$; y

la nanocapa de transición inferior que comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa de transición inferior que comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,5$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$.

7. Artículo recubierto según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 6, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde la sub-capa (42) presenta una conductividad térmica de la sub-capa y la capa base (64) presenta una conductividad térmica de la capa base, y donde la conductividad térmica de la sub-capa es menor que la conductividad térmica de la capa base; y donde la capa superior (46) presenta una conductividad térmica de la capa superior, y la conductividad térmica de la capa superior es menor que la conductividad térmica de la capa base, y/o

en donde cada uno de entre la sub-capa (42), la capa superior (46), la región (45) de recubrimiento de transición superior, la región (43) de recubrimiento de transición inferior, y el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad además comprende uno o más de los metales del Grupo IVb, Vb y VIb de la Tabla periódica y aluminio y silicio.

8. Artículo recubierto según cualquiera de las reivindicaciones 3 a 7, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde cada uno de entre la sub-capa (42), la capa superior (46), la región (45) de recubrimiento de transición superior, la región (43) de recubrimiento de transición inferior, y el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, se aplica mediante deposición física en fase vapor.

9. Artículo recubierto según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en donde el artículo es una pieza de inserción de corte y en donde el sustrato (22) comprende uno de lo siguiente: acero de corte rápido, carburos cementados incluyendo carburo de tungsteno-cobalto, cerámica incluyendo SiAlON y alúmina y nitruro de silicio, cerámica metálica incluyendo materiales a base de carburo de titanio, y materiales superduros incluyendo nitruro de boro cúbico sinterizado y diamante sinterizado.

10. Método de aplicación de un recubrimiento sobre un artículo que comprende los pasos de:

aplicar un patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que contiene titanio, aluminio, cromo y nitrógeno, y el paso de aplicar el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que comprende los pasos de:

aplicar una pluralidad de conjuntos de disposiciones (50, 52) de capas alternas, en donde la aplicación de cada disposición de capas alternas comprende los pasos de:

aplicar una capa base (64) que comprende titanio, aluminio y nitrógeno y aplicar una región (66) de nanocapas (66) que comprende los pasos de:

aplicar una pluralidad de conjuntos (68, 70) de nanocapas alternas que comprenden los pasos de:

aplicar una nanocapa (82) que comprende titanio, aluminio, cromo y nitrógeno, y aplicar otra nanocapa (84) que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno,

en donde la capa base (64) presenta un grosor (G) de capa base y la región (66) de nanocapas presenta un grosor (F) de nanocapas, donde el grosor de la capa base es menor que el grosor de la región de nanocapas, y

5 en donde la capa base (64) comprende $(Ti_yAl_{1-y})N$, en donde $0,2 \leq y \leq 0,65$ y la nanocapa (82) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_yCr_xAl_{1-(x+y)})N$, en donde $0 < x \leq 0,15$ y $0,2 \leq y \leq 0,65$, y otra nanocapa (84) del conjunto de nanocapas alternas en la región (66) de nanocapas comprende $(Ti_pAl_qCr_{1-(p+q)})N$, en donde $0,2 \leq p \leq 0,65$ y $0,01 \leq q \leq 0,65$ y $(p + q) < 1$.

10 11. Método de aplicación de un patrón de recubrimiento según la reivindicación 10, que además comprende los pasos de:

proporcionar un sustrato de una pieza de inserción de corte (22);

previo a la aplicación del patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, aplicar, para estar más cerca del sustrato (22), una sub-capa (42) que contiene aluminio, cromo y nitrógeno;

15 el paso de aplicar un patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad que además incluye la aplicación del patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad a la sub-capa (42); y

aplicar una capa superior (46) al patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, en donde la capa superior (46) contiene aluminio, cromo y nitrógeno.

20 12. Método de aplicación de un patrón de recubrimiento según la reivindicación 10 u 11, que además comprende los pasos de:

después de aplicar la sub-capa (42) y antes de aplicar el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, aplicar una capa (43) de transición inferior que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas de transición inferiores que comprende los pasos de:

25 aplicar una pluralidad de conjuntos de nanocapas de transición inferiores que comprende los pasos de:

aplicar una nanocapa de transición inferior que comprende titanio, aluminio, cromo y nitrógeno, y aplicar otra nanocapa de transición inferior que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno;

30 después de aplicar el patrón de recubrimiento (44) de nanocapas intermedias con multi-periodicidad, aplicar una capa (45) de transición superior que comprende una pluralidad de conjuntos de nanocapas de transición superiores alternas que comprende los pasos de:

aplicar una pluralidad de conjuntos de nanocapas de transición superiores alternas que comprende los pasos de:

35 aplicar una nanocapa de transición superior que comprende titanio, aluminio, cromo y nitrógeno, y

aplicar otra nanocapa de transición superior que comprende aluminio, cromo, titanio y nitrógeno.

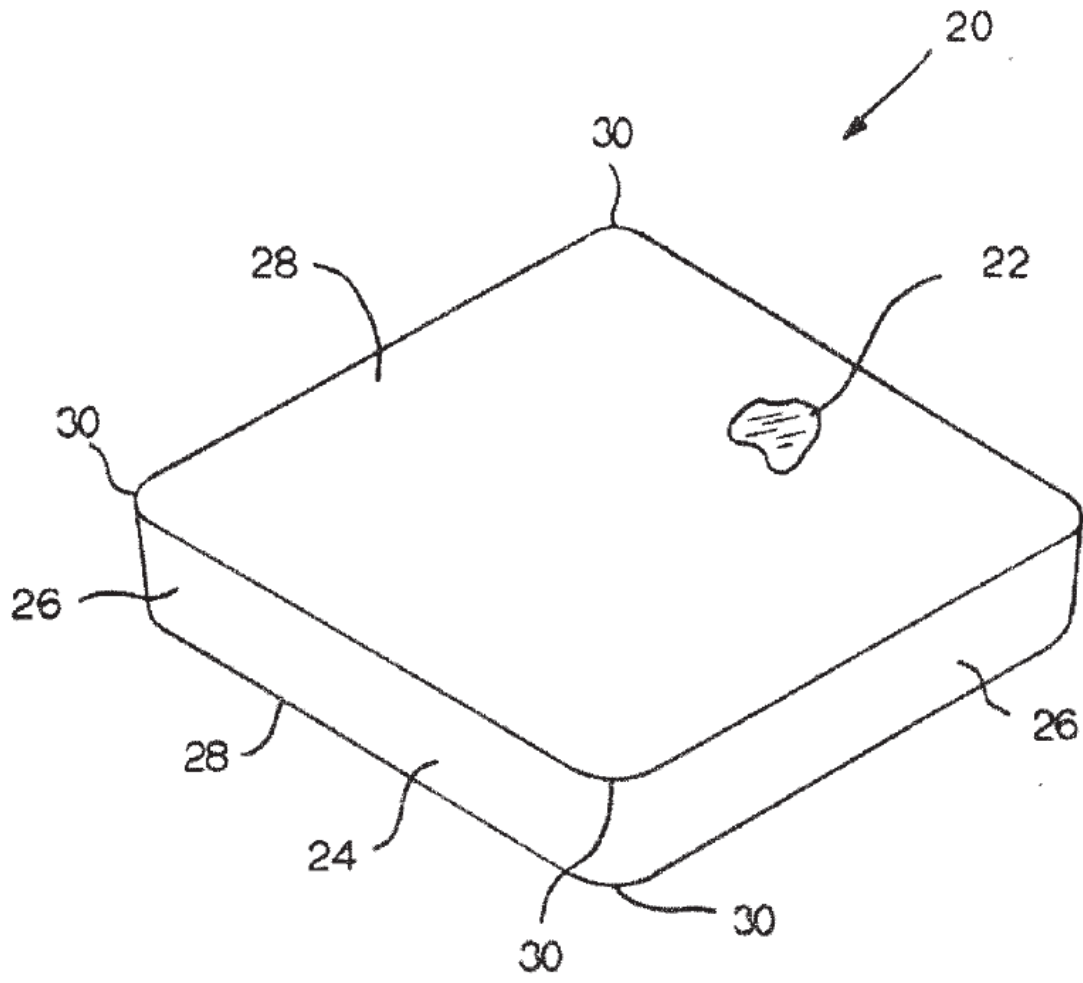


FIG. 1

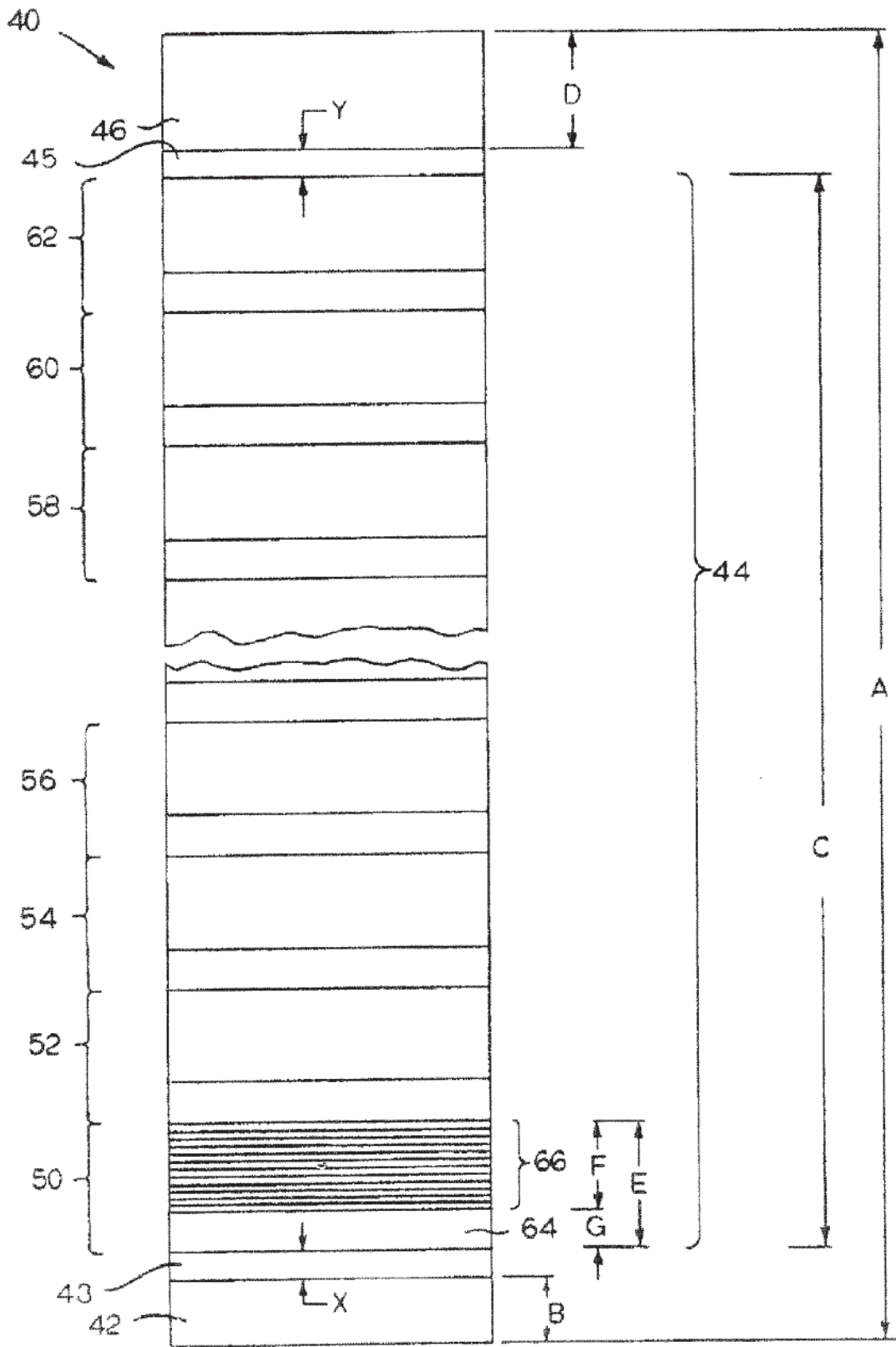


FIG. 2

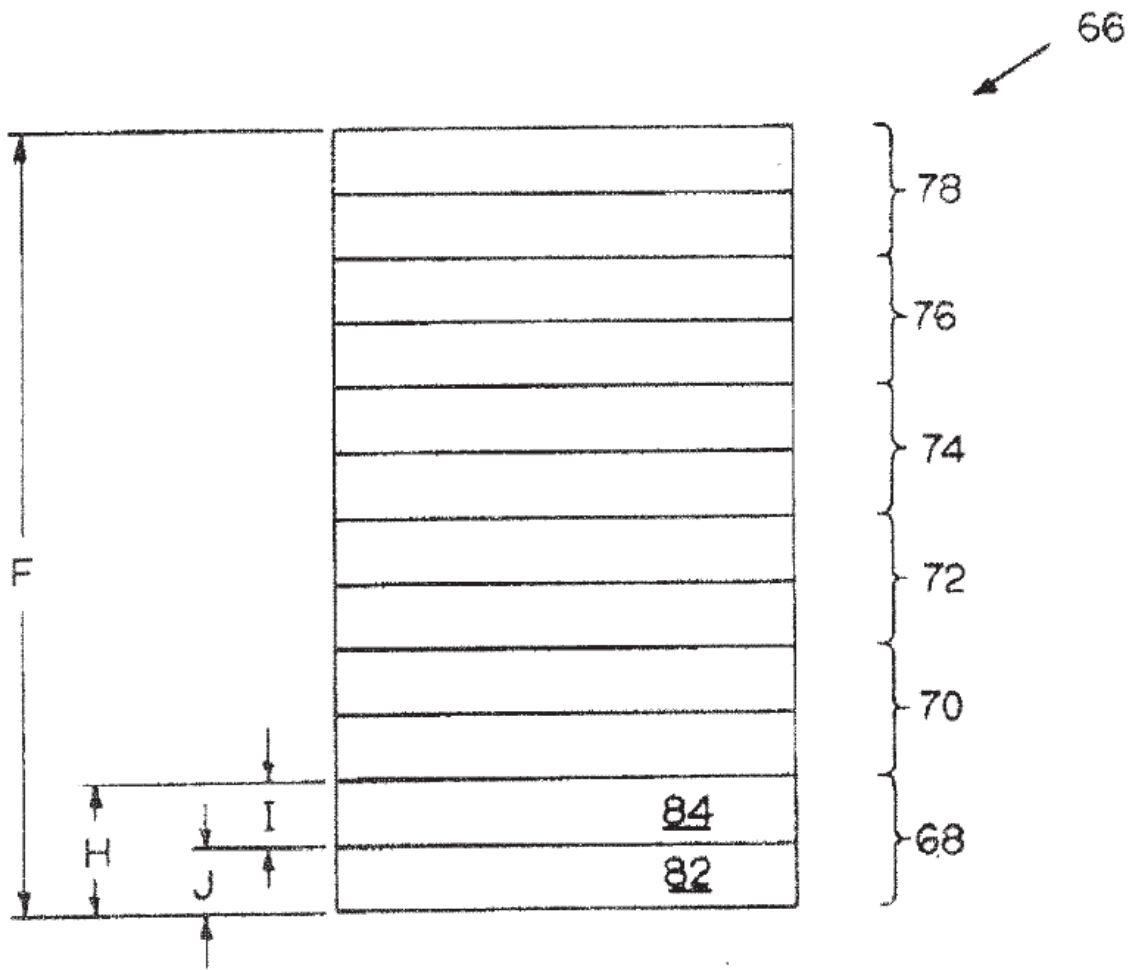


FIG. 2A

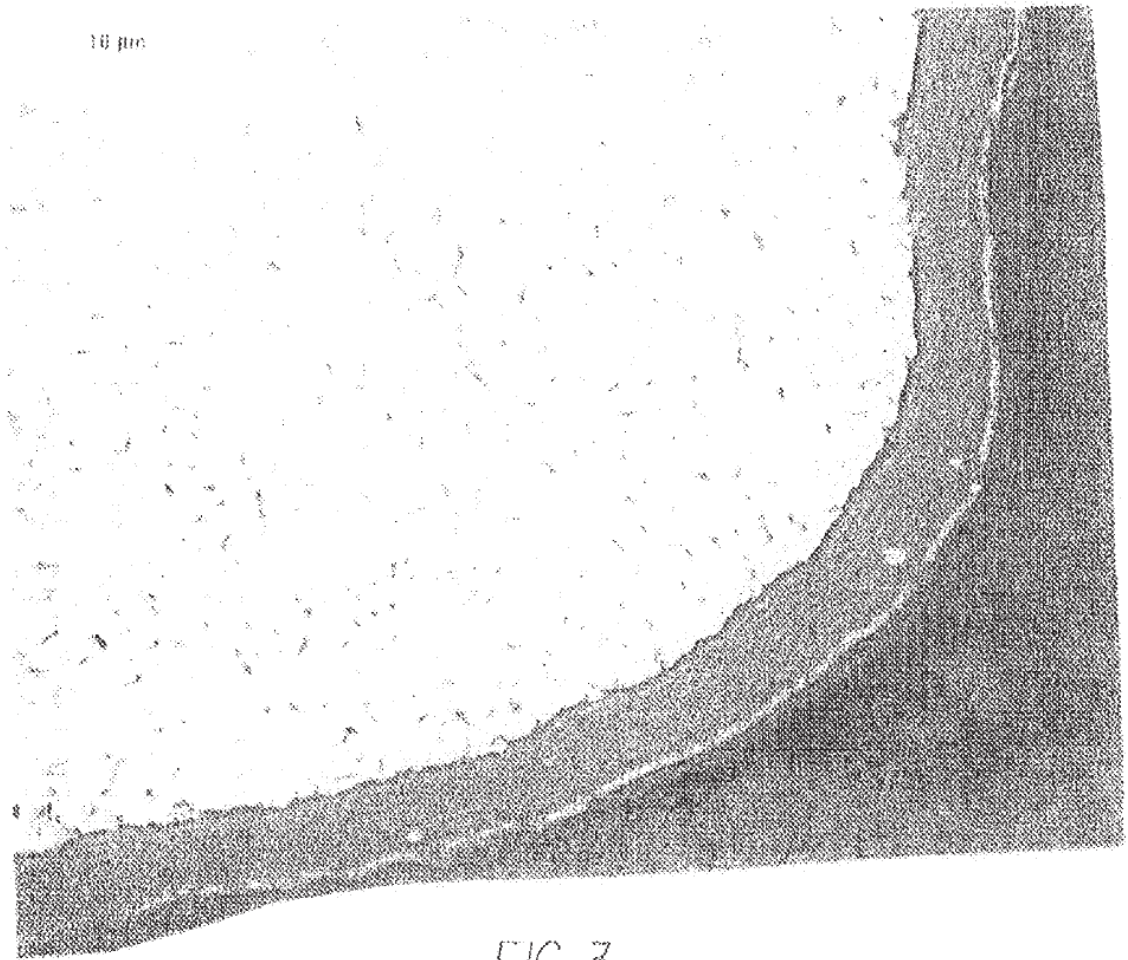


FIG. 3

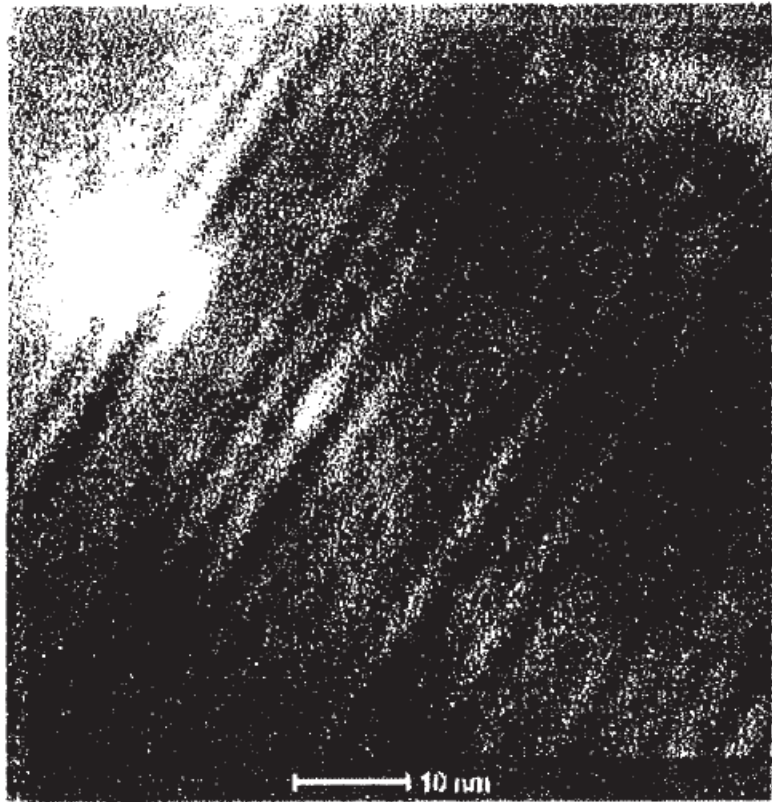


FIG. 4

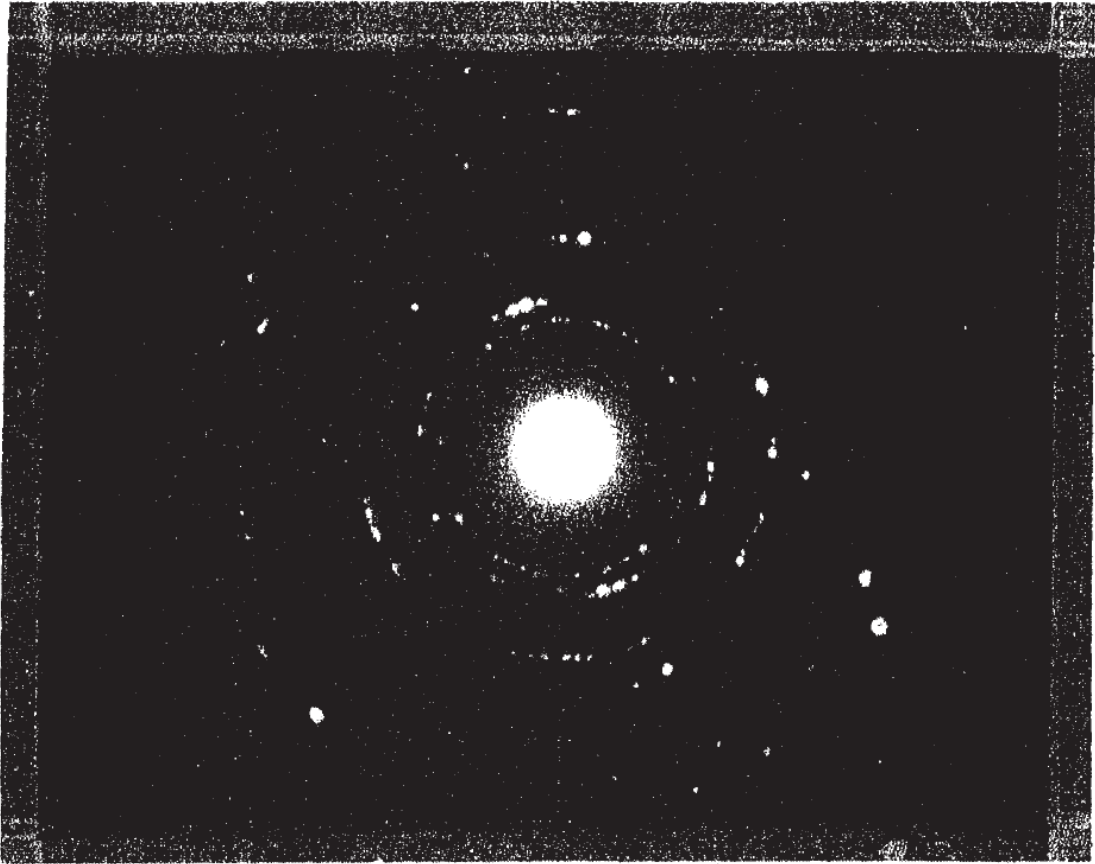


FIG. 4A

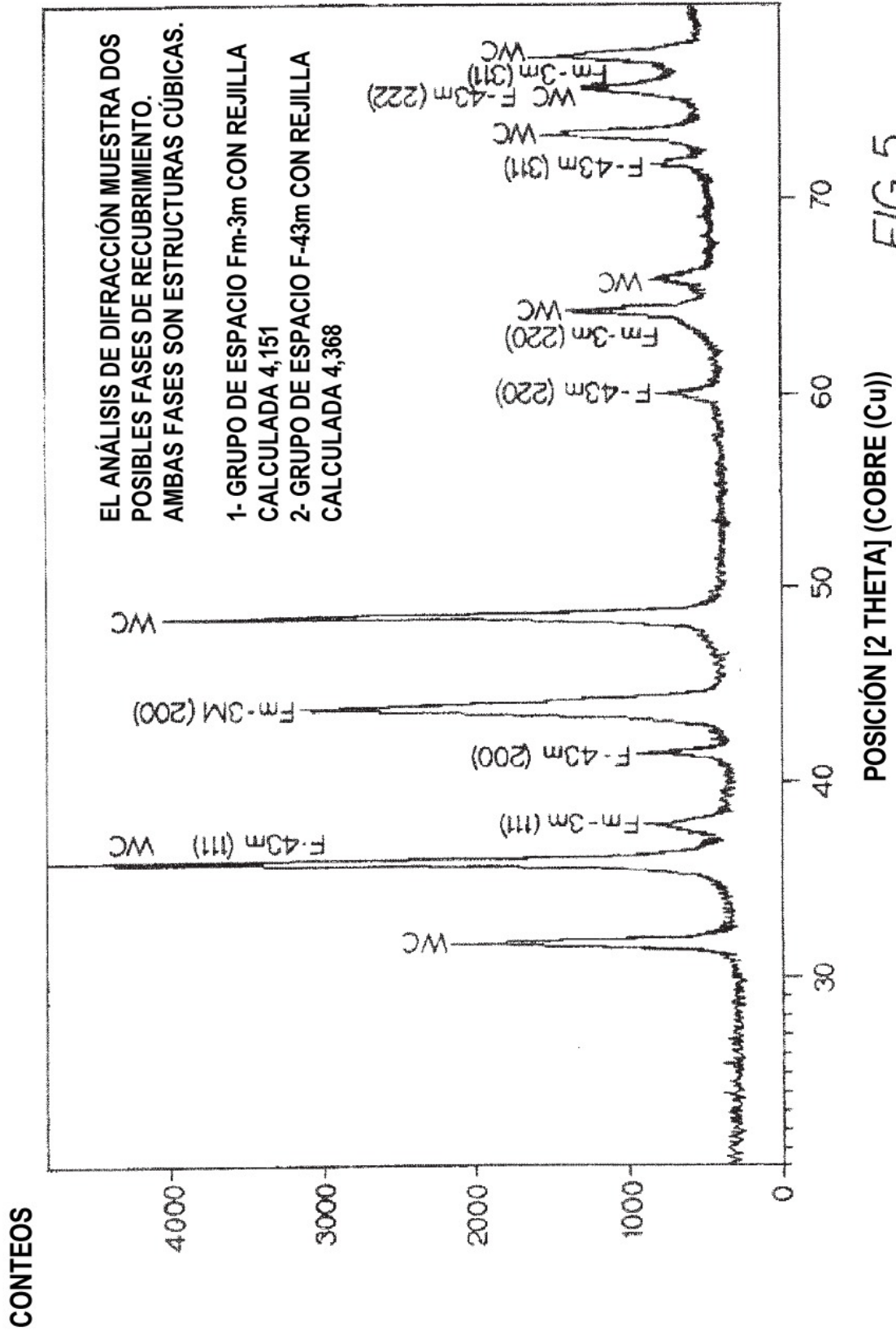


FIG.5