

19



OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 945 897**

51 Int. Cl.:

**C08J 7/12** (2006.01)  
**C23C 14/06** (2006.01)  
**C23C 14/32** (2006.01)  
**C23C 30/00** (2006.01)  
**C23C 28/04** (2006.01)  
**C08J 7/04** (2006.01)  
**C08J 7/046** (2010.01)  
**C23C 28/00** (2006.01)

12

## TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

- 86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **30.08.2007 PCT/EP2007/059070**
- 87 Fecha y número de publicación internacional: **03.04.2008 WO08037556**
- 96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **30.08.2007 E 07803079 (8)**
- 97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **08.03.2023 EP 2069553**

54 Título: **Pieza de trabajo con recubrimiento duro**

30 Prioridad:

**26.09.2006 US 826943 P**  
**02.04.2007 US 909559 P**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:  
**10.07.2023**

73 Titular/es:

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

72 Inventor/es:

**FONTAINE, FRÉDÉRIC;**  
**LECHTHALER, MARKUS y**  
**KALSS, WOLFGANG**

74 Agente/Representante:

**ISERN JARA, Jorge**

ES 2 945 897 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

Pieza de trabajo con recubrimiento duro

- 5 La presente invención está dirigida a una pieza de trabajo que tiene un cuerpo y un sistema de recubrimiento duro resistente al desgaste en al menos una parte de su superficie, además de un método para fabricar un dispositivo.

Análisis de la técnica relacionada

- 10 TiAlN es un recubrimiento que se usa ampliamente para mecanizar acero templado y se aplica habitualmente mediante un proceso de PVD.

Definición

- 15 Entendemos por proceso físico de deposición de vapor (PVD) un proceso de deposición al vacío, en el que se utiliza un plasma y el material se introduce en la atmósfera de procesamiento a partir de un sólido. Por lo tanto, bajo este término de PVD, por ejemplo, evaporación por arco catódico, recubrimiento iónico, pulverización, por lo tanto, pulverización con magnetrón, todos los procesos dirigidos, reactivos o no reactivos, son miembros de la categoría de procesamiento por PVD.

- 20 A diferencia de los procesos de recubrimiento de CVD, la deposición química de vapor y PECVD, la deposición química de vapor mejorada con plasma proporciona un recubrimiento fuera de la fase gaseosa.

- 25 Las capas de TiAlN utilizadas como una sola capa o en sistemas multicapa con subcapas de diferentes estequiometrías de Ti/Al/N, pueden usarse hasta temperaturas de trabajo de 900 °C como máximo para aplicaciones de herramientas debido a la degradación incipiente de la dureza a temperaturas superiores de 800 a 850 °C dependiendo de la relación Aluminio/Titanio.

- 30 Por lo tanto, el documento US 2005-0003239 propone aplicar recubrimientos de AlCrN a las piezas de trabajo para aumentar su resistencia a la oxidación. Se sabe que este recubrimiento tiene una buena resistencia a la oxidación y una dureza en caliente de hasta 1100 °C, dependiendo de la relación Aluminio/Cromo. Se hace referencia además a propuestas similares en el documento WO 2006/005217, el documento WO 2006/084404 y el documento US 2006-0222893, que tratan de mejorar aún más la resistencia a la oxidación y/o la dureza en caliente de los recubrimientos mediante el uso de diferentes multicapas y/o mediante la introducción de otros elementos en la matriz de AlCrN.

- 35 El documento US 2006-0269789 divulga una multicapa dura para cortar material de alta dureza a alta velocidad. La multicapa dura comprende una primera capa basada en TiAlCrNX, en la que X representa C u O. Una segunda capa consta de una mezcla de TiAlCrNX y de TiAl(SiC)NX o es una multicapa de capas de estos materiales alternativos. Una tercera capa más externa consiste esencialmente en TiAl(SiC)NX.

- 40 Otro recubrimiento para mejorar el corte de aceros templados se divulga en el documento EP 1 690 959. Allí el recubrimiento comprende un sistema de dos capas basado en (TiAlSi)N de diferentes estequiometrías de Al y Si. Se conocen otros recubrimientos de la técnica anterior a partir del documento EP1219723 y del documento WO2004/059030.

- 45 A pesar de los enfoques destacados anteriormente, todavía existe la necesidad de mejorar aún más los sistemas de recubrimiento duro en los cuerpos de las piezas de trabajo con respecto a la resistencia al desgaste y la oxidación, mejorando así aún más el rendimiento de dichas piezas de trabajo, especialmente utilizadas como herramientas de corte en el mecanizado de materiales duros, por lo tanto, especialmente de aceros templados.

- 50 La invención se refiere a una pieza de trabajo de acuerdo con la reivindicación 1 y a un método de acuerdo con la reivindicación 11.

- 55 Por lo tanto, es un objeto de la presente invención mejorar aún más los recubrimientos duros con respecto a la resistencia al desgaste y la resistencia a la oxidación. Para resolver tal objeto se propone una pieza de trabajo que tiene un cuerpo y un sistema de recubrimiento duro resistente al desgaste en al menos una parte de la superficie del cuerpo, en donde el sistema comprende al menos una capa de la siguiente composición:



- 60 donde

X es al menos uno de N, C, CN, NO, CO, CNO y

- 65 Z es al menos uno de W, Mo, Ta, Cb (también denominado Nb) y en el que es válido

$$0,2 \leq a \leq 0,5$$

$$0,01 \leq b \leq 0,2$$

$$0,001 \leq c \leq 0,04.$$

Sorprendentemente, el objeto dirigido se logra agregando genéricamente boro (B) y al menos uno de los elementos Z dirigidos a una matriz de tipo AlCrX cumpliendo las condiciones dirigidas con respecto a la estequiometría. Nos dirigimos a esta capa como HL<sub>0</sub>.

En una realización preferida de la pieza de trabajo de acuerdo con la invención, el elemento Z se selecciona para que sea tungsteno W y se establece

$$0,01 \leq b \leq 0,01$$

y

$$0,01 \leq c \leq 0,01$$

Nos dirigimos a esta capa como HL<sub>1</sub>.

Entendemos a lo largo de la presente descripción y en las reivindicaciones bajo el término "sistema de recubrimiento" o "subsistema de recubrimiento" un sistema que consta de una sola capa o de múltiples, es decir, más de una capa.

La dirigida al menos una capa HL<sub>0</sub> posiblemente HL<sub>1</sub>, por lo tanto, puede aplicarse directamente sobre la superficie del cuerpo de la pieza de trabajo. Además, pueden aplicarse para formar la capa más exterior del sistema de recubrimiento. Claramente, si tal sistema de recubrimiento consta de una capa, entonces la capa de tipo HL dirigida reside directamente sobre la superficie del cuerpo y es la capa más externa. La capa de tipo HL<sub>0</sub> puede ser además la capa más externa de un sistema multicapa. Además, puede estar incrustada dentro de un sistema multicapa entre un subsistema de primera capa hacia la superficie del cuerpo de la pieza de trabajo y un subsistema de segunda capa hacia la superficie del cuerpo recubierto. Aún más, en un sistema multicapa se pueden proporcionar más de una de las capas de tipo HL<sub>0</sub> de estequiometría igual o variable y/o composición de material. Por lo tanto, tales capas de tipo HL<sub>0</sub> pueden residir directamente uno sobre otro con diferente estequiometría y/o composición del material o pueden estar separados por subsistemas de capas de recubrimiento respectivos.

En una realización de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, la al menos una capa HL<sub>0</sub> o HL<sub>1</sub> reside más al exterior del sistema de recubrimiento duro.

En una realización de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, la al menos una capa de tipo HL<sub>0</sub> reside directamente en la superficie del cuerpo de dicha pieza de trabajo.

Todavía en una realización adicional, el sistema comprende al menos una capa intermedia de (Ti<sub>d</sub>Al<sub>e</sub>)N. Por lo tanto, en una realización adicional, al menos una de las capas intermedias dirigidas se interpone entre la superficie del cuerpo y la al menos una capa de tipo HL<sub>0</sub> dirigida. Nos dirigimos a esta capa intermedia como IL<sub>1</sub>.

En una realización adicional de la pieza de trabajo, la capa intermedia dirigida reside directamente en al menos una de las superficies de la pieza de trabajo y de al menos una capa de tipo HL<sub>0</sub>.

Por lo tanto, en la realización en la que la capa intermedia se interpone entre la superficie del cuerpo y el al menos un HL<sub>0</sub> o HL<sub>1</sub>, además se pueden proporcionar adicionalmente del tipo dirigido entre el HL<sub>0</sub> o HL<sub>1</sub> y la superficie del sistema. Además, la capa intermedia dirigida no debe residir necesariamente como la única capa entre la superficie del cuerpo y la superficie del HL<sub>1</sub> o HL<sub>0</sub>, se pueden proporcionar capas adicionales entre ellas, de modo que la capa intermedia sea una capa de un subsistema multicapa entre la superficie del cuerpo y HL<sub>0</sub> o HL<sub>1</sub>. Sin embargo, en una realización, el recubrimiento intermedio dirigido reside directamente sobre al menos una de las superficies del cuerpo y el HL<sub>0</sub> o HL<sub>1</sub>. Al aplicar la al menos una capa intermedia de (Ti<sub>d</sub>Al<sub>e</sub>)N en una realización adicional se aplica:

$$0,4 \leq d \leq 0,6$$

y

$$0,4 \leq e \leq 0,6.$$

En una realización adicional de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, el sistema de recubrimiento duro comprende al menos una capa intermedia de (Al<sub>i</sub>Cr<sub>j</sub>)N. Nos dirigimos a esta capa intermedia como IL<sub>2</sub>.

Con respecto a dónde se puede proporcionar al menos una capa intermedia, prevalece lo mismo que se dirigió

anteriormente con respecto a la capa  $(\text{Ti}_d\text{Al}_e)\text{N} - \text{IL}_1$  -, con la excepción de que para la capa intermedia  $(\text{Al}_f\text{Cr}_g)\text{N}$ , en una realización adicional se selecciona

$$0,4 \leq f \leq 0,7$$

y

$$0,3 \leq g \leq 0,6.$$

Además, tanto las capas intermedias dirigidas  $\text{IL}_1$  y  $\text{IL}_2$  pueden proporcionarse en combinación dentro del sistema de recubrimiento duro.

Todavía en una realización adicional de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, la al menos una capa,  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$ , exhibe una fracción relativamente pequeña de  $\text{AlN}$  caracterizada por una estructura cristalina de tipo hexagonal. Tal fase  $\text{AlN}$  hexagonal en esta realización reside con un porcentaje de  $\text{Al}$  de al menos 70% dentro de la fracción metálica del  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$  material, cuya fracción comprende todos los elementos menos  $\text{X}$  de  $\text{AlCrBZX}$  o  $\text{AlCrBW}\text{X}$ .

Dicha estructura hexagonal puede reconocerse mediante análisis XRD.

En una realización adicional de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, el al menos un  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$  tiene un coeficiente de textura  $Q = I(200)/I(111)$  en el intervalo de  $0,1 \leq Q \leq 1$ . Dicho coeficiente de textura  $Q$  puede medirse mediante análisis de difracción de rayos X. Como se dirigió, el término  $Q$  se define como la relación de las intensidades de difracción  $I(200)$  a  $I(111)$  asignadas respectivamente a los planos (200) y (111) en la difracción de rayos X de un material utilizando una configuración de medición como, por ejemplo, descrito en contexto con la figura 4 de la presente descripción. Por lo tanto, en una realización adicional, el intervalo dirigido de  $Q$  está incluso restringido a  $0,1 \leq Q \leq 0,4$ .

Mirando hacia atrás a las capas intermedias dirigidas  $\text{IL}_1$ ,  $\text{IL}_2$  debe mencionarse que en las realizaciones respectivas estas capas intermedias pueden exhibir una estructura de crecimiento columnar, dando así al sistema de recubrimiento general un rendimiento excelente, especialmente si se usa en una herramienta de corte.

En una realización adicional de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención, el sistema de recubrimiento duro comprende una multicapa de capas alternas de al menos una de las capas intermedias mencionadas  $\text{IL}_1$ ,  $\text{IL}_2$  y de al menos uno de  $\text{HL}_0$  y  $\text{HL}_1$ , por tanto, preferiblemente de  $(\text{AlCrBW})\text{X}$ , es decir,  $\text{HL}_1$ .

Una capa múltiple de este tipo puede, por ejemplo, comprender, partiendo de la superficie del cuerpo, una primera de las capas intermedias mencionadas  $\text{IL}_1$ , entonces posiblemente una segunda de las capas intermedias dirigidas  $\text{IL}_2$  de diferente tipo, luego un primer  $\text{HL}$ , es decir,  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$ , luego de nuevo una o más de dichas capas intermedias  $\text{IL}_1$ ,  $\text{IL}_2$ , un segundo  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$  del mismo o de diferente material, un tercer  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$  directamente sobre el anterior, etc. etc. Por lo tanto, dependiendo de la aplicación específica, existe una gran variedad de adaptaciones de este tipo de sistema de recubrimiento duro multicapa que utiliza el  $\text{HL}_0$  o  $\text{HL}_1$  y de las capas intermedias dirigidas  $\text{IL}_1$ ,  $\text{IL}_2$  en diferentes combinaciones.

En una realización adicional de la pieza de trabajo de acuerdo con la invención, el cuerpo es de acero rápido, acero templado, carburo cementado o nitrato de boro cúbico o en una realización adicional de cermet o material cerámico.

Todavía en una realización adicional, la pieza de trabajo dirigida de acuerdo con la presente invención es una herramienta de corte, por lo tanto, en una realización adicional, una fresa de extremo, un taladro, un inserto de corte o una herramienta de corte de engranajes.

Un proceso de ejemplo para la fabricación de una pieza de trabajo como se dirigió comprende proporcionar dicho cuerpo de pieza de trabajo en una cámara de vacío de recubrimiento de plasma, aplicando el sistema de recubrimiento duro al cuerpo mediante un proceso de deposición física de vapor (PVD) durante un tiempo de procesamiento y estableciendo así una temperatura de al menos al menos  $550^\circ\text{C}$  a la superficie del cuerpo recubierto durante al menos una parte predominante del tiempo de procesamiento.

En una realización, que no forma parte de la invención, de tal proceso, la temperatura dirigida se selecciona para que sea de al menos  $600^\circ\text{C}$ .

Todavía bajo aspecto adicional, la presente invención se dirige a un método de fabricación de un dispositivo que tiene al menos una parte de un material duro. Dicho método comprende un proceso de corte del material duro del dispositivo utilizando una herramienta de corte de acuerdo con la presente invención. Por lo tanto, todavía en una realización adicional del método de fabricación del dispositivo mencionado, el material duro tiene una dureza Rockwell de al menos 52 HRC, por lo tanto, incluso de al menos 55 HRC. Todavía en una realización adicional del método de

fabricación al que se acaba de dirigir, el material duro es acero templado.

Se han realizado procesos de corte con herramientas de corte de acuerdo con la presente invención que mostraron resultados en materiales duros al menos tan buenos o incluso mejores que los ejemplos comparativos realizados con herramientas del estado de la técnica. Sin embargo, en operaciones de corte en acero endurecido u otros materiales de alta dureza que tienen una dureza Rockwell de HRC 50, especialmente de HRC 52 o superior, incluso de HRC superior a 55, las herramientas de acuerdo con la presente invención revelaron un rendimiento extraordinariamente bueno como mostrarse a continuación.

La presente invención se describirá ahora adicionalmente por medio de ejemplos y con la ayuda de figuras. Las figuras muestran:

la figura 1 esquemáticamente una parte de una primera realización de una pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención;

la figura 2 en una representación análoga a la de la figura 1, una segunda realización de una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 3 en una representación análoga a las de las figuras 1 y 2, otra realización de una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 4, en una representación análoga a las de las figuras 1 a 3, otra realización de una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 5 en una representación análoga a las de las figuras 1 a 4, otra realización más de una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 6 es una SEM de una sección transversal de un recubrimiento duro de AlCrN;

la figura 7, una SEM de una sección transversal de un recubrimiento duro de AlCrBWN en una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 8, una SEM de una sección transversal de un recubrimiento duro de TiAlN/AlCrBWN en una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 9 espectros XRD de un recubrimiento duro de AlCrN y de AlCrBWN, este último en una pieza de trabajo de acuerdo con la invención;

la figura 10 espectros XRD de recubrimientos duros de AlCrBWN en piezas de trabajo de acuerdo con la presente invención.

En la figura 1 se muestra esquemáticamente una primera realización de una pieza de trabajo 1 de acuerdo con la presente invención. La pieza de trabajo 1 tiene un cuerpo 3 con una superficie 5. El cuerpo es de uno de los materiales acero de alta velocidad, acero templado, carburo cementado, nitrato de boro cúbico, cermet o material cerámico.

De acuerdo con la realización de la figura 1 una de las capas  $HL_0$  que puede ser  $HL_1$  reside directamente en la superficie 5 del cuerpo 3.

Por lo tanto, la superficie 7 de la pieza de trabajo resultante está formada por una superficie de la capa dirigida  $HL_0$  que así, como una buena realización, forma la superficie más exterior de la pieza de trabajo.

En la realización de la figura 2 que se muestra en una representación análoga a la de la figura 1 se proporciona un subsistema de recubrimiento CSS entre la capa dirigida  $HL_0$  que puede ser  $HL_1$  y la superficie 5 del cuerpo 3. Tal subsistema de recubrimiento CSS puede, de acuerdo con la definición de subsistemas de recubrimiento que se ha hecho anteriormente, comprender una o más capas.

Como puede verse en la definición de las capas  $HL_0$  y también  $HL_1$  X, y en el caso de  $HL_0$  también Z puede constar de diferentes elementos. De acuerdo con la realización de la figura 3 la capa más externa del sistema de recubrimiento duro está formada por  $HL_0$  en una primera composición material, denotada por  $HL_{01}$  o por la capa  $HL_1$ , en una composición de material específica, denotada por  $HL_{11}$ . Propagándose hacia el sustrato 3 se proporciona una segunda capa  $HL_0$  en una composición de material diferente denotada por  $HL_{02}$  o respectivamente por  $HL_1$  en una composición de material diferente, denotada por  $HL_{12}$ .

Puede o no seguir más capas de tipo  $HL_0$  y/o de tipo  $HL_1$  hasta la superficie 5 del cuerpo 3.

Aunque en la realización de la figura 3 el sistema de recubrimiento consta de capas  $HL_{0x}$ , al menos una parte de ellas

posiblemente capas  $HL_{1x}$ , en la realización de acuerdo con la figura 4 existe el sistema de recubrimiento duro que comprende un subsistema de recubrimiento CSS. Tal subsistema de recubrimiento puede o no comprender más capas de tipo  $HL_0$ , pero además comprende al menos una capa que no es del tipo dirigido  $HL_0$ .

- 5 En todas las realizaciones de la figura 1 a 4 la capa más externa con la superficie 7 está formada por una capa del tipo dirigido  $HL_0$ . Este es un buen enfoque para formar la superficie más externa dirigida de la pieza de trabajo.

10 Sin embargo y, por ejemplo, con un ojo en la figura 4 para algunos aparatos puede ser recomendable proporcionar (no se muestra) un subsistema de recubrimiento adicional encima de la capa más externa de tipo  $HL_0$  de modo que la superficie más externa 7 esté formada por dicho subsistema más externo.

15 En la realización de acuerdo con la figura 5 las capas de tipo  $HL_0$  alternan con subsistemas de recubrimiento CSS. De este modo, las capas aplicadas alternativamente de tipo  $HL_0$  puede ser igual o diferente con respecto a la composición del material.

Los subsistemas de recubrimiento alternados también pueden consistir en una o más capas, al menos una de las cuales no es de tipo  $HL_0$ .

20 Como se ejemplifica mediante la realización de acuerdo con la figura 1 a 5 existe una gran variedad para aplicar capas  $HL_0$  al cuerpo 3 de la pieza, en función de las necesidades específicas de dicha pieza de trabajo. Especialmente si la pieza de trabajo es una herramienta, especialmente una herramienta de corte se sugiere seleccionar como capa más externa del sistema de recubrimiento una capa de tipo  $HL_0$ .

25 Hemos dirigido en la parte introductoria de la descripción una primera capa intermedia de  $(Ti_dAl_e)N$  especialmente con d y e en intervalos de valores específicos como  $IL_1$  y han dirigido un segundo tipo de capa intermedia de  $(Al_fCr_g)N$ , con intervalos específicos para f y g como  $IL_2$ .

30 Con un ojo en las realizaciones de la figura 1 a 5 cada uno de los subsistemas de recubrimiento dirigidos CSS puede comprender o consistir en  $IL_1$  o de  $IL_2$  o puede comprender o consistir en una combinación de  $IL_1$  e  $IL_2$ , y puede comprender capas adicionales de tipo  $HL_0$  o de capas diferentes de tipo  $HL_0$  e  $IL_1$ ,  $IL_2$ .

35 De nuevo, el experto en la materia reconoce a partir de las realizaciones dirigidas de acuerdo con la figura 1 a 5 incorporando las capas intermedias  $IL_1$  y/o  $IL_2$  una mayor variedad de combinaciones seleccionables dependiendo de las necesidades respectivas.

40 A continuación, se ejemplifican algunas realizaciones específicas de la pieza de trabajo de acuerdo con la presente invención. El rendimiento de corte de las piezas de trabajo de acuerdo con la invención concebidas como herramientas de corte se comparó con dichas herramientas de acuerdo con el estado de la técnica, por lo que se aplicaron operaciones de corte y parámetros de corte iguales a las respectivas herramientas de acuerdo con la presente invención y a las herramientas comparativas de acuerdo con el estado de la técnica, para propósitos válidos de comparación.

45 Los sistemas de recubrimiento duro aplicados a las muestras en los siguientes ejemplos se depositaron en las siguientes condiciones, si no se especifican de manera específica y diferente, mediante las cuales se aplicó el proceso para fabricar las piezas de trabajo de acuerdo con un ejemplo no inventivo.

Tecnología de deposición: Evaporación por arco catódico

50 Presión total de trabajo: 5,5 Pa de  $N_2$

Tensión de polarización del cuerpo a recubrir: -85 V contra potencial de tierra para capas de tipo  $HL_0$  y -100 V contra potencial de tierra para capas  $IL_1$  e  $IL_2$

55 Temperatura de la superficie del cuerpo que se está recubriendo: 600 °C

Corriente de evaporación: 200 A por objetivo de evaporación

60 Los sistemas de recubrimiento duro se depositaron en una máquina de recubrimiento Balzers RCS en configuración de evaporación por arco. Los cuerpos de las herramientas de corte se montaron en soportes giratorios triples durante la deposición de PVD.

Todos los sistemas de recubrimiento duro depositados sobre el cuerpo de la herramienta de corte tenían un espesor total entre 2 y 2,5  $\mu m$ , medido en el mango de la herramienta de corte.

65

### Ejemplo 1

Se comparó una primera serie de sistemas de recubrimiento duro monocapa con el sistema monocapa de TiAlN y AlCrN del estado de la técnica.

La tabla 1 muestra el sistema de recubrimiento duro investigado en este ejemplo. Para aplicar cada uno de los sistemas de recubrimiento duro monocapa dirigidos, la máquina de recubrimiento estaba equipada con cuatro cátodos de evaporación por arco idénticos, también llamados objetivos. Las composiciones respectivas de estos objetivos también se enumeran en la tabla 1. La composición resultante del material de recubrimiento estaba dentro del 10 % de la composición objetivo para los elementos principales Al, Cr, Ti y estaba dentro del 20 % de la composición objetivo para los elementos B y W, Mo y Ta.

Tabla 1

N.º	Recubrimiento duro	Composición objetivo
1 <sub>com.</sub>	TiAlN	Ti <sub>0,5</sub> Al <sub>0,5</sub>
2 <sub>com.</sub>	TiAlN	Ti <sub>0,33</sub> Al <sub>0,67</sub>
3 <sub>com.</sub>	AlCrN	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,3</sub>
4	AlCrBWN	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,226</sub> B <sub>0,067</sub> W <sub>0,007</sub>
5	AlCrBMoN	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,21</sub> B <sub>0,07</sub> Mo <sub>0,02</sub>
6	AlCrBTaN	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,226</sub> B <sub>0,067</sub> Ta <sub>0,007</sub>

El rendimiento de los sistemas de recubrimiento duro se evaluó en términos de resistencia al desgaste en una operación de corte de metales. La cantidad de desgaste en la cara lateral,  $v_{b\text{máx}}$ , se midió en función de la longitud del corte. La prueba de corte fue una prueba de fresado en condiciones de acabado en un acero templado para herramientas de trabajo en frío. Las condiciones de corte fueron las siguientes:

Herramienta de corte: Fresa de punta esférica de 2 ranuras, radio de bola de 5 mm, material de grado de carburo de micrograno

Pieza de trabajo: 1,2379 60 HRC

Velocidad de rotación del husillo: 7996 rev/min

Profundidad de corte axial: 0,4 mm

Profundidad de corte radial: 0,2 mm

Tasa de alimentación: 0,1 mm/diente

Velocidad de corte: 98 m/min

Alimentación: 1600 mm/min

Refrigerante: aire

Dirección de fresado: fresado descendente

Longitud de 1 pase: 43,8 m

Fin de la vida útil de la herramienta:  $v_{b\text{máx}} > 0,15$  mm al final de una pasada

Los resultados de la prueba de corte se enumeran en la Tabla 2.

Tabla 2

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste $v_{b\text{máx}}$ (mm)
1 <sub>com.</sub>	87,6	0,25
2 <sub>com.</sub>	87,6	0,17
3 <sub>com.</sub>	87,6	0,2
4	131,4	0,25
5	131,4	0,33
6	131,4	0,41

Puede verse que la incorporación de B y W, Mo y Ta en AlCrN da como resultado una mejor protección contra el desgaste en comparación con la protección contra el desgaste de AlCrN y TiAlN de acuerdo con las muestras comparativas 1 a 3.

## 5 Ejemplo 2

Se preparó una serie de sistemas de recubrimiento duro de doble capa. La tabla 3 enumera los sistemas de recubrimiento duro investigados. Se recubrieron los mismos cuerpos de herramienta del material del ejemplo 1. De este modo, directamente sobre la superficie del cuerpo de la herramienta se aplicó una capa intermedia IL<sub>1</sub> y directamente sobre dicha capa intermedia una capa de tipo HL<sub>1</sub>. La máquina estaba equipada con dos objetivos idénticos para la deposición de la capa intermedia y con cuatro objetivos idénticos para la deposición de la capa exterior de tipo HL<sub>1</sub>. Las respectivas composiciones del material de destino también se enumeran en la tabla 3.

Tabla 3

N.º	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
7 <sub>com.</sub>	TiAlN	AlCrN	Ti <sub>0,5</sub> Al <sub>0,5</sub>	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,3</sub>
8	TiAlN	AlCrB WN	Ti <sub>0,33</sub> Al <sub>0,67</sub>	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,226</sub> B <sub>0,067</sub> W <sub>0,007</sub>
9	TiAlN	AlCrB WN	Ti <sub>0,5</sub> Al <sub>0,5</sub>	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,226</sub> B <sub>0,067</sub> W <sub>0,007</sub>

El rendimiento de las herramientas de acuerdo con esta segunda serie se investigó con la misma prueba de corte que se aplicó a las herramientas del ejemplo 1. Los resultados se enumeran en la tabla 4.

Por lo tanto, la capa intermedia IL<sub>1</sub> del espécimen No. 9 muestra una estequiometría que está dentro del intervalo de

$$0,4 \leq d \leq 0,6$$

$$0,4 \leq e \leq 0,6$$

de la (Ti<sub>d</sub>Al<sub>e</sub>)N de la capa intermedia IL<sub>1</sub>, mientras que la capa intermedia tal como se aplica en el ejemplo No. 8 está justo fuera del intervalo de estequiometría dirigido.

Tabla 4

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste v <sub>bmáx</sub> (mm)
7 <sub>com.</sub>	87,6	0,4
8	267,8	0,18
9	438	0,15

Al aplicar una IL<sub>1</sub> capa intermedia a la capa de tipo HL proporcionada de acuerdo con la invención especialmente diseñada como un capa de tipo HL<sub>1</sub> con X = N, la provisión de dicha capa intermedia mejora significativamente la resistencia al desgaste y aún más si se cumplen los intervalos de estequiometría dirigidos para los compuestos de aluminio y titanio.

## Ejemplo 3

Se preparó otra serie de piezas de trabajo, a saber, herramientas con un sistema de recubrimiento duro de acuerdo con la presente invención que consta de dos capas, a saber, que consta de una capa intermedia TiAlN, IL<sub>1</sub> directamente entre un cuerpo de herramienta como ya se usó en los ejemplos 1 y 2 y una capa de tipo HL<sub>1</sub> con X = N como ya se ha previsto en los especímenes 8 y 9 de la tabla 3. De este modo, la temperatura de una superficie que se estaba recubriendo se varió entre 450 °C y 600 °C variando el tiempo y/o la potencia de calentamiento.

Para los especímenes 10, 11 y 12, como sigue, se usaron los mismos objetivos para la capa intermedia y para la capa más externa que se especifica para el espécimen No. 9.

La tabla 5 muestra por un lado las capas dirigidas del sistema de recubrimiento y por otro lado las temperaturas de deposición.



Tabla 5

N.º	Recubrimiento duro		Temperatura de depósito (°C)
	Capa intermedia	Capa exterior	
10	TiAlN	AlCrBWN	450
11	TiAlN	AlCrBWN	550
12	TiAlN	AlCrBWN	600

El rendimiento de las muestras se investigó con las mismas condiciones de corte que en el ejemplo 1. Los resultados se enumeran en la siguiente tabla 6.

Tabla 6

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste $v_{bm\acute{a}x}$ (mm)
10	223	0,55
11	350,4	0,5
12	438	0,15

Los resultados muestran, por un lado, que el espécimen n.º 12, que se revistió de forma idéntica al espécimen n.º 9 del ejemplo 2, presenta la misma resistencia al desgaste que el espécimen 9 mencionada. Además, el espécimen 10 revela que incluso a temperaturas más bajas de 450 °C, el sistema de recubrimiento de acuerdo con la presente invención es significativamente superior a un sistema de recubrimiento de dos capas comparable recubierto a 600 °C de acuerdo con el espécimen n.º 7.

Además, al comparar las muestras 10 a 12, es evidente que la resistencia al desgaste aumenta significativamente con el aumento de la temperatura de deposición y logra el mejor rendimiento, a partir del espécimen n.º 12, a una temperatura máxima de deposición de 600 °C de acuerdo con lo investigado o más.

#### Ejemplo 4

Se preparó una cuarta serie de sistemas de recubrimiento duro de doble capa con una capa intermedia IL<sub>1</sub> y una capa de tipo HL<sub>1</sub> de la realización específica con X = N.

Como especímenes de comparación, se seleccionaron sistemas de una sola capa de la técnica anterior de TiAlN y AlCrN. La siguiente tabla 7 enumera el material de recubrimiento respectivo y la composición objetivo.

Tabla 7

N.º	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
13 <sub>com</sub>	TiAlN		Ti <sub>0,5</sub> Al <sub>0,5</sub>	
14 <sub>com</sub>	AlCrN		Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,3</sub>	
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
15	TiAlN	AlCrBWN	Ti <sub>0,5</sub> Al <sub>0,5</sub>	Al <sub>0,7</sub> Cr <sub>0,226</sub> B <sub>0,067</sub> W <sub>0,007</sub>

El rendimiento de las herramientas resultantes se evaluó en términos de resistencia al desgaste en la aplicación de corte de metales. La cantidad de desgaste en la cara del flanco  $v_{bm\acute{a}x}$  se midió en función de la longitud del corte. Las pruebas de corte se realizaron en las condiciones de una operación de fresado de semiacabado en un acero para herramientas tratado térmicamente. Las condiciones de corte fueron las siguientes:

Herramienta de corte: Fresa de mango de 3 ranuras, 8 mm de diámetro, calidad de metal duro micrograno  
 Pieza de trabajo: 1,2344 36 HRC  
 Velocidad de rotación del husillo: 4775 rev/min  
 Profundidad de corte axial: 10 mm  
 Profundidad de corte radial: 0,5 mm

Tasa de alimentación: 0,05 mm/diente  
 Velocidad de corte: 120 m/min  
 Alimentación: 716 mm/min  
 Refrigerante: Emulsión a base de aceite mineral al 6%, refrigeración externa  
 Dirección de fresado: fresado descendente  
 Longitud de 1 pase: 10 m  
 Fin de la vida útil de la  $v_{b\text{máx}} > 0,15$  mm al final de una pasada  
 herramienta:

La tabla 8 revela los resultados de la prueba de corte.

Tabla 8

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste $v_{b\text{máx}}$ (mm)
13 <sub>com.</sub>	30	0,17
14 <sub>com.</sub>	80	0,17
15	100	0,18

#### Ejemplo 5

Se preparó una serie de herramientas con sistemas de recubrimiento de doble capa, que consisten en una capa intermedia IL<sub>1</sub> y una capa de tipo HL<sub>1</sub> con X = N. Se compararon con las respectivas herramientas recubiertas con sistemas de recubrimiento de doble capa de última generación, a saber, de TiN como capa intermedia y TiAlN como capa más externa o recubiertas con AlCrN como capa intermedia y TiSiN como capa más externa.

La tabla 9 muestra las composiciones respectivas del material de capa y del material objetivo.

Tabla 9

No.	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
	Multicapa			
16 <sub>com</sub>	TiN-TiAlN		Ti - Ti0,5Al0,5	
17 <sub>com.</sub>	AlCrN-TiSiN		Al0,7Cr0,3 - Ti0,85Si015	
	Doble capa			
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
18	TiAlN	AlCrBWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,226B0,067W0,007

El rendimiento de las herramientas recubiertas respectivamente se evaluó en la operación de taladrado en acero tratado térmicamente. La cantidad de desgaste en la cara del flanco del filo de corte principal  $v_{b\text{máx}}$  se utilizó para evaluar la calidad de la protección contra el desgaste. Las condiciones de prueba fueron las siguientes:

Herramienta de corte: Taladro de 2 ranuras, 6,8 mm de diámetro, calidad de metal duro de grano fino  
 Pieza de trabajo: 1.7225,  $R_m = 1000\text{N/mm}^2$ , recocido a una dureza Brinell de 240 HB  
 Velocidad de rotación del husillo: 4684 rev/min  
 Velocidad máxima cortante: 100 m/min  
 Tasa de alimentación: 0,18 mm/rev  
 Alimentación: 843 mm/min  
 Profundidad del orificio: 34 mm  
 Refrigerante: Emulsión a base de aceite mineral al 6%, refrigeración externa  
 Fin de la vida útil de la herramienta:  $v_{b\text{máx}} > 0,2$  mm

La siguiente tabla 10 muestra los resultados de la perforación.

Tabla 10

N.º	Número de orificios	Cantidad de desgaste $V_{bm\acute{a}x}$ (mm)
16 <sub>com.</sub>	2128	0,2
17 <sub>com.</sub>	2432	0,18
18	912	0,25

5 Este ejemplo deja claro que las herramientas de acuerdo con la presente invención pueden no ser la mejor opción para usar en aceros altamente recocidos y materiales blandos.

10 En los siguientes ejemplos No. 6 a 8 los sistemas de recubrimiento duro se depositaron nuevamente como ya se dirigió para los ejemplos anteriores, pero la presión de trabajo total  $N_2$  se redujo de 5,5 Pa a 3,5 Pa y el voltaje de polarización del sustrato contra tierra se incrementó de -85 V a -100 V para la deposición de la capa más externa de AlCrBWN de acuerdo con HL<sub>1</sub> con X = N.

Ejemplo 6

15 Se preparó una sexta serie de herramientas para establecer el efecto de una capa intermedia AlCrN IL<sub>2</sub> en lugar de una capa intermedia TiAlN IL<sub>1</sub>.

La tabla 11 muestra los materiales de capa respectivos y las composiciones objetivo.

Tabla 11:

20

N.º	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
	Doble capa			
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
19	TiAlN	AlCrBWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,226B0,067W0,007
20	AlCrN	AlCrBWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,226B0,067W0,007

Utilizando herramientas recubiertas como se indica, se aplicó una prueba de corte con los siguientes parámetros

Herramienta de corte: Fresa de punta esférica de 2 ranuras, radio de bola de 5 mm, material de grado de carburo de micrograno

Pieza de trabajo: 1,2379 60 HRC

Velocidad de rotación del husillo: 6370 rev/min

Profundidad de corte axial: 0,3 mm

Profundidad de corte radial: 0,5 mm

Tasa de alimentación: 0,15 mm/diente

Velocidad de corte: 200 m/min

Alimentación: 1911 mm/min

Refrigerante: aire

Dirección de fresado: fresado descendente

Longitud de 1 pase: 30 m

Fin de la vida útil de la herramienta:  $V_{bm\acute{a}x} > 0,10$  mm al final de una pasada

25 Los resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste $V_{bm\acute{a}x}$ (mm)
19	270	0,11
20	240	0,12

A partir de estos resultados se puede ver que proporcionar una capa intermedia IL<sub>1</sub> o un IL<sub>2</sub> que conduce sustancialmente a los mismos buenos resultados.

#### 5 Ejemplo 7

Para la séptima serie de especímenes, el objetivo era establecer el efecto de un contenido diferente de B y W en una capa de tipo HL<sub>1</sub> con X = N. La siguiente tabla 13 enumera el material de la capa intermedia, así como de la capa exterior y las respectivas composiciones de los materiales objetivo.

Tabla 13

N.º	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
	Doble capa			
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
21 <sub>com.</sub>	TiAlN	AlCrN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,3
22	TiAlN	AlCrBWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,226B0,067W0,007
23 <sub>com.</sub>	TiAlN	AlCrWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,28W0,02

Usando tales herramientas, se aplicó una prueba de corte con los mismos parámetros que en el ejemplo 6

Los resultados se muestran en la tabla 14

Tabla 14

N.º	Longitud de corte (m)	Cantidad de desgaste v <sub>bmáx</sub> (mm)
21 <sub>com.</sub>	120	0,11
22	240	0,10
23 <sub>com.</sub>	150	0,11

#### 20 Ejemplo 8

En la octava serie de especímenes que se recubrieron con un sistema de recubrimiento de dos capas como se indica en la tabla 15, antes de las pruebas de corte se aplicó un tratamiento de cepillado con una máquina cepilladora de acuerdo con el documento DE GM 20 2006 000 654.1 para ajustar un estado comparable a un desgaste homogéneo inicial, que asegura después un progreso homogéneo del desgaste durante la aplicación de corte.

El tratamiento de la herramienta recubierta se realizó con cepillos rotativos de acuerdo con el documento remitido. La figura 2 y la respectiva descripción en la página 5, último párrafo, hasta la página 6, final del primer párrafo de este Modelo de servicio público alemán n.º 20 2006 000 654,1 se incluye específicamente y se menciona por referencia en la presente descripción con respecto a la técnica de cepillado dirigida. El ángulo del cepillo era de aproximadamente 30° con referencia al eje de la herramienta, la velocidad de rotación seleccionada a 650 vueltas/minuto. El material de cepillado era nailon impregnado con SiC, malla 400 de tamaño de grano de SiC, diámetro de las cerdas de 0,45 mm, longitud de las cerdas de 35 mm. La rotación del satélite de la herramienta fue de 9 vueltas/min, la rotación de la mesa que soportaba los satélites fue de aproximadamente 0,3 vueltas/min. Se podría haber logrado un efecto similar para diseccionar una franja de unos pocos micrómetros del material de la pieza de trabajo a lo largo del filo de corte utilizando Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> cepillos impregnados. No obstante, para este último cepillado se debe triplicar el tiempo si se utilizan los mismos parámetros que se han mencionado anteriormente. Esto puede realizarse, por ejemplo, mediante la rotación de la mesa de soporte en 0,1 vueltas/min.

Alternativamente, o incluso adicionalmente, se puede aplicar un tratamiento de bruñido similar mediante operaciones de cepillado, granallado, rectificado o similares antes del proceso de recubrimiento como pretratamiento.

Con la herramienta recubierta de acuerdo con la tabla 15

Tabla 15

N.º	Recubrimiento duro		Composición del objetivo	
	Doble capa			
	Capa intermedia	Capa exterior	Capa intermedia	Capa exterior
24	TiAlN	AlCrBWN	Ti0,5Al0,5	Al0,7Cr0,226B0,067W0,007

se realizaron pruebas de corte con los siguientes parámetros de corte:

- 5
- Herramienta de corte: Fresa de punta esférica de 2 ranuras, radio de bola de 5 mm, material de grado de carburo de micrograno
- Pieza de trabajo: 1,2379 62 HRC
- Velocidad de rotación del husillo: 6000 rev/min
- Profundidad de corte axial: 0,4 mm
- Profundidad de corte radial: 0,05 mm
- Tasa de alimentación: 0,10 mm/diente
- Velocidad de corte: 184 m/min
- Alimentación: 600 mm/min
- Refrigerante: aire
- Dirección de fresado: técnica de fresado descendente para bolsillos (56 mm x 26 mm)
- Longitud de un solo paso: 1 bolsillo
- Fin de la vida útil:  $V_{b\max} > 0,10$  mm al final de un bolsillo

Tabla 16

N.º	Tratamiento de cepillado (sí/no)	Número de bolsillos (N)
24a	No	4
24b	Sí	10

- 10 A partir de los ejemplos que se muestran arriba, queda claro que las herramientas en las que los sistemas de recubrimiento duro comprenden la capa HL<sub>0</sub> en la forma específica de HL<sub>1</sub> con X = N como en un sistema de una sola capa o, y especialmente en relación con la capa intermedia dirigida IL<sub>1</sub> y/o IL<sub>2</sub>, proporcionan un aumento sorprendente de la resistencia al desgaste en comparación con los sistemas de recubrimiento de última generación, por ejemplo, con los sistemas de recubrimiento más externos de TiAlN o AlCrN.

- 15 A pesar de que el HL<sub>1</sub> dirigido con X = N recubrimiento se aplica a través de todos los ejemplos como la capa más externa del sistema de recubrimiento, es evidente para el experto que para algunas aplicaciones se pueden proporcionar capas adicionales sobre la capa indicada como, por ejemplo, una capa lubricante.

- 20 Además, a lo largo de los ejemplos, la capa dirigida HL<sub>1</sub> es, considerada hacia el cuerpo de la herramienta, aplicada directamente sobre el cuerpo de la herramienta o separada de allí por una capa intermedia IL<sub>1</sub> o IL<sub>2</sub>.

- 25 No obstante, para algunas aplicaciones es evidente para el experto en la materia que tales sistemas multicapa con las capas de tipo HL y tipo IL propuestas de acuerdo con la invención pueden concebirse en una gran variedad dependiendo de las necesidades específicas.

- 30 Además, los ejemplos anteriores se han realizado específicamente en las capas HL<sub>1</sub>, donde X = N. Sin embargo, está perfectamente claro para el experto en la materia que reemplazar N por C, CN, NO, CO o CNO conducirá a capas HL<sub>1</sub> con cualidades similares de resistencia al desgaste.

- Lo mismo es válido si en la capa de tipo HL<sub>1</sub> el elemento W se reemplaza por Mo, Ta, Cb (Nb).

- Aún más, las herramientas con las que se han realizado los ejemplos tienen un cuerpo de herramienta de carburo de tungsteno.

- 35 No obstante, con respecto al material del cuerpo de la herramienta o del cuerpo de la pieza de trabajo más genérico,

está perfectamente claro para el artesano experto que el aumento previsto de la resistencia al desgaste mediante el sistema de recubrimiento de acuerdo con la presente invención también se logrará en cuerpos de piezas de trabajo de alta acero rápido, carburo cementado o nitruro de boro cúbico o de un cermet o de un material cerámico. La mejora dirigida de la resistencia al desgaste puede ser muy deseable no solo para herramientas como herramientas de corte, como fresas, taladros, insertos de corte, herramientas de corte de engranajes, sino también para otras piezas de trabajo distintas de las herramientas.

Mediante el método de fabricación de un dispositivo que es al menos en parte de un material duro, especialmente con una dureza de al menos HRC 52, que comprende un proceso de corte del material duro tratado utilizando la herramienta de corte de acuerdo con la presente invención, la fabricación del dispositivo se vuelve más rápido, por lo tanto, el rendimiento es mayor y los costos de fabricación se reducen.

En la figura 6 se muestra una sección transversal SEM de un recubrimiento de AlCrN. Esto concuerda con una micrografía electrónica de barrido (SEM) de una sección transversal del sistema de recubrimiento duro de una sola capa de acuerdo con el espécimen 3 del ejemplo No. 1. El recubrimiento duro exhibe una estructura de crecimiento columnar muy fina con columnas que tienen un ancho del orden de 200 nm.

La figura 7 muestra dicha micrografía electrónica de barrido de una sección transversal del sistema de recubrimiento duro de una sola capa de AlCrBWN de acuerdo con el espécimen No. 4 del ejemplo 1. Este recubrimiento duro no muestra una estructura de crecimiento columnar. El fuerte proceso de renucleación durante la deposición da lugar a una estructura de recubrimiento nanocristalino que parece vítrea en la sección transversal SEM con un aumento de 25.000.

La figura 8 muestra una micrografía electrónica de barrido (SEM) de una sección transversal de un sistema de recubrimiento duro de doble capa de TiAlN/AlCrBWN de acuerdo con el espécimen 9 del ejemplo 2. La capa intermedia IL<sub>1</sub> exhibe una estructura de crecimiento columnar, con columnas que tienen un ancho del orden de 400 nm.

El tipo HL<sub>1</sub> la capa externa exhibe la misma estructura de crecimiento de tipo vítreo que el espécimen No. 4 del ejemplo 1 (ver figura 7). La estructura de crecimiento columnar está claramente interrumpida en la interfaz entre la capa intermedia y la capa exterior.

La figura 9 muestra los espectros XRD de un sistema de recubrimiento duro de una sola capa de AlCrN de acuerdo con el espécimen No. 3 del ejemplo No. 1 y de un AlCrBWN tipo HL<sub>1</sub> sistema de recubrimiento duro de una sola capa de acuerdo con el espécimen número 4 del ejemplo 1. Los espectros se registraron con un equipo Bruker AXS, utilizando un CuK $\alpha$  haz incidente ( $\lambda = 1.5406\text{nm}$ ) y un ángulo de incidencia oblicua de 2° que entrega una calidad apreciable para los espectros de recubrimientos nanocristalinos. Esta configuración permite medir incluso películas delgadas sin la influencia perturbadora del sustrato y/o de una capa intermedia. El espectro XRD de AlCrN exhibe picos en torno a 37,5°, 43,7° y 63,7°, que se asignan a los planos <111>, <200> y <220> de una estructura cristalina de AlCrN fcc (cúbica centrada en las caras).

Como era de esperar para un Al<sub>x</sub>Cr<sub>1-x</sub> recubrimiento duro de N que tiene una  $x \leq 0,7$ , no hay fase AlN hexagonal en tal recubrimiento duro. El recubrimiento duro de AlCrBWN exhibe picos de difracción que también se asignan a los planos <111>, <200> y <220> de AlCrN. Sin embargo, los recubrimientos duros de Al<sub>x</sub>CrBWN, que tienen el mismo x de 0,7, muestran una notable contribución de hcp (empaquetado cerrado hexagonal) AlN. Los picos alrededor de 33,1°, 49,5° y 58,9° señalan señales atribuidas a esa fase. Los picos de alrededor de 31,5°, 35,7°, 48,3°, 64,1° y 65,9° se derivan del cuerpo de WC-Co del sustrato de carburo.

La figura 10 muestra espectros XRD de recubrimientos duros de AlCrBWN en piezas de trabajo de acuerdo con la presente invención.

La medición se realizó utilizando la configuración que se describe en el contexto de la figura 9. El espectro superior se refiere a los recubrimientos de AlCrBWN depositados en las condiciones de depósito de los ejemplos 6 a 8. Reducir la polarización del sustrato de -100 a -85 V contra el potencia de tierra, como se muestra en el espectro inferior de la figura 10, produce un cambio notable con respecto al valor de Q, sin embargo, obviamente induce una ampliación del pico. Este último puede referirse a un mayor refinamiento de grano.

# REIVINDICACIONES

1. Una pieza de trabajo que tiene un cuerpo y un sistema de recubrimiento duro resistente al desgaste en al menos una parte de la superficie de dicho cuerpo, comprendiendo dicho sistema al menos una capa de la siguiente composición



donde

X es al menos uno de: N, CN, NO, CNO;  
Z es al menos uno de: W, Mo, Ta, Nb;  
donde es válido

$$0,2 \leq a \leq 0,5;$$

$$0,01 \leq b \leq 0,2;$$

$$0,001 \leq c \leq 0,04,$$

caracterizado por que dicha al menos una capa exhibe una estructura de crecimiento de tipo vítreo nanocristalino en la sección transversal SEM.

2. La pieza de trabajo de la reivindicación 1, en la que dicho sistema comprende al menos una capa intermedia de  $(Ti_d Al_e)N$ , donde es válido:

$$0,4 \leq d \leq 0,6$$

y

$$0,4 \leq e \leq 0,6.$$

3. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 2, en la que dicho sistema comprende al menos una capa intermedia de  $(Al_f Cr_g)N$ , donde es válido

$$0,4 \leq f \leq 0,7$$

y

$$0,3 \leq g \leq 0,6.$$

4. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 3, en la que dicha al menos una capa comprende AlN hexagonal.

5. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 4, en la que dicha al menos una capa tiene un coeficiente de textura  $Q = I(200)/I(111)$  en el intervalo de  $0,1 \leq Q \leq 1$ .

6. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 2 a 5, en la que dicha capa intermedia de TiAlN o AlCrN exhibe respectivamente una estructura de crecimiento columnar.

7. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 6, en la que dicho sistema comprende una multicapa de capas alternas de al menos una de  $(Ti_d Al_e)N$  y de  $(Al_f Cr_g)N$  y de dicha al menos una capa, preferentemente de  $(Al_{1-a-b} Cr_a B_b W_c)X$ .

8. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 7, siendo dicho cuerpo de acero rápido, acero templado, carburo cementado y nitrato de boro cúbico.

9. La pieza de trabajo de una de las reivindicaciones 1 a 8, siendo dicho cuerpo de un cermet y de un material cerámico.

10. La pieza de trabajo de la reivindicación 8 o 9, que es una de una fresa de extremo, un taladro, un inserto de corte, una herramienta de corte de engranajes.

11. Un método para fabricar un dispositivo al menos en parte de un material duro que comprende un proceso de corte de dicho material duro usando una pieza de trabajo de acuerdo con la reivindicación 8 o 9 que es una herramienta de corte.

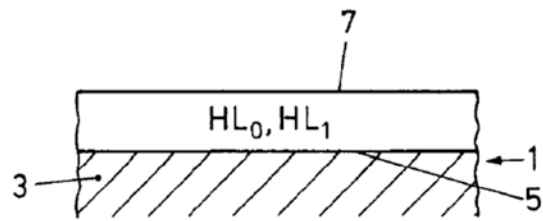


FIG.1

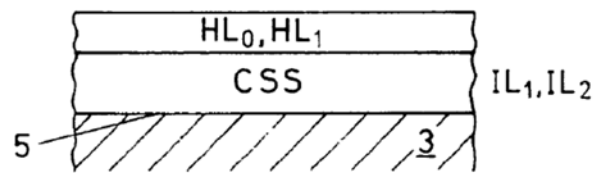


FIG.2

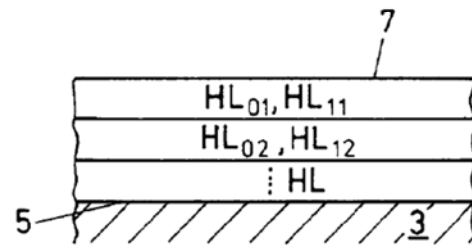


FIG.3

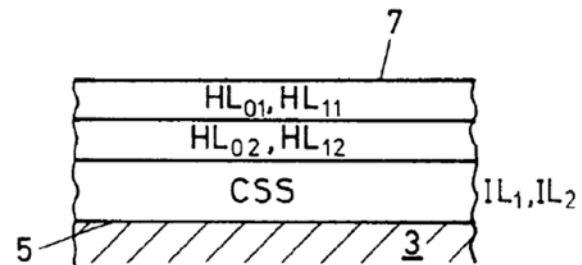


FIG.4

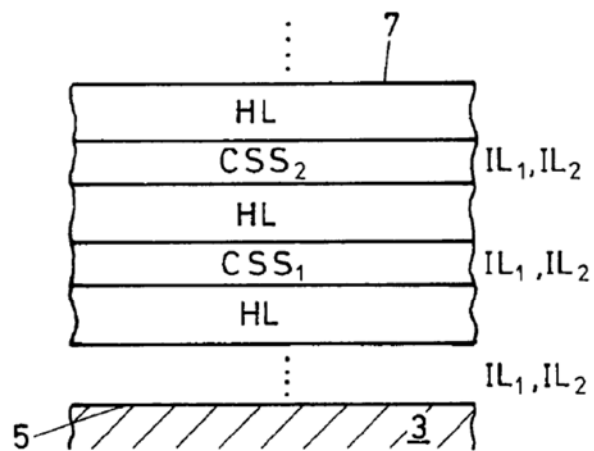


FIG.5



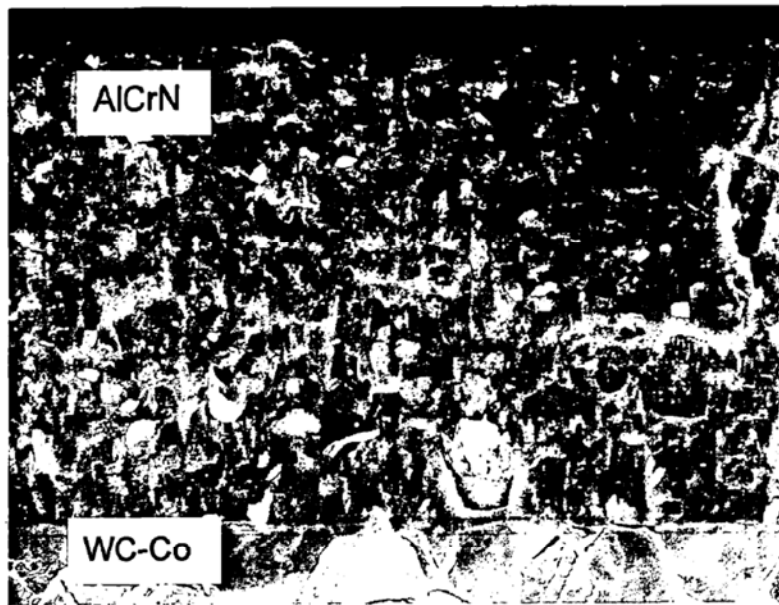


Fig. 6

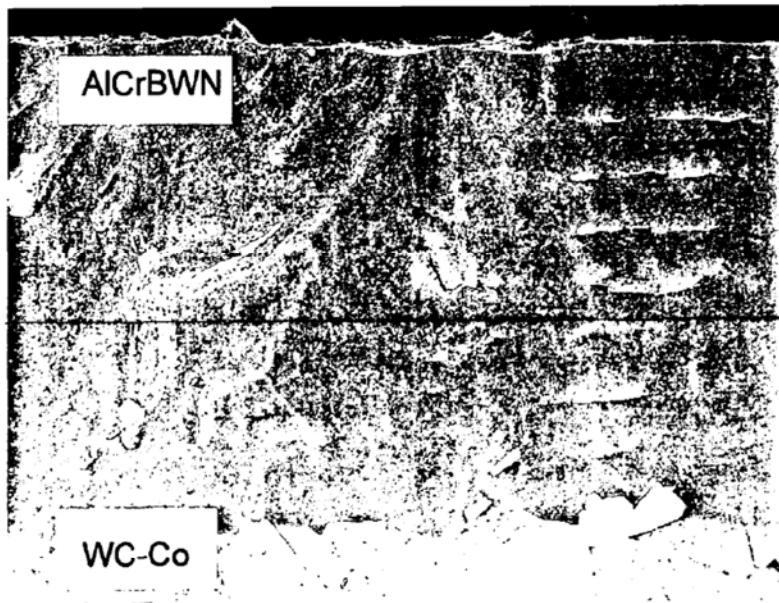


Fig. 7

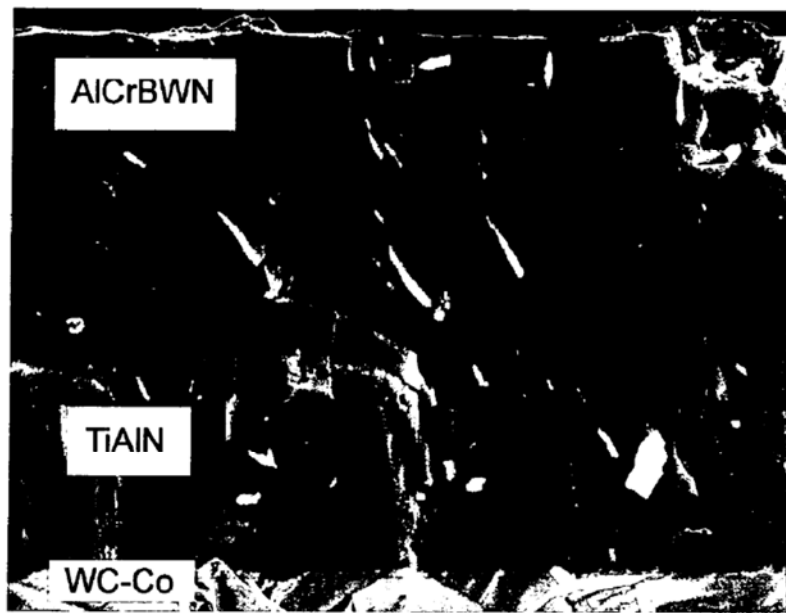


Fig. 8

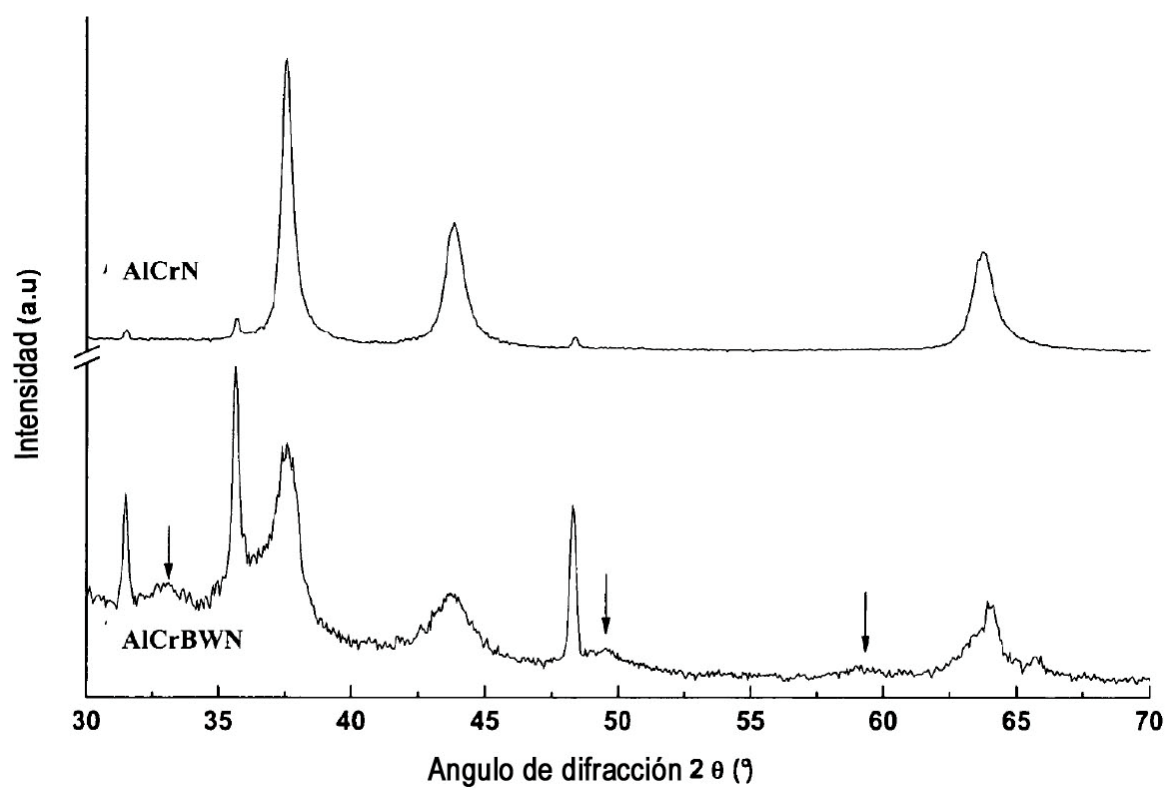


Fig.9

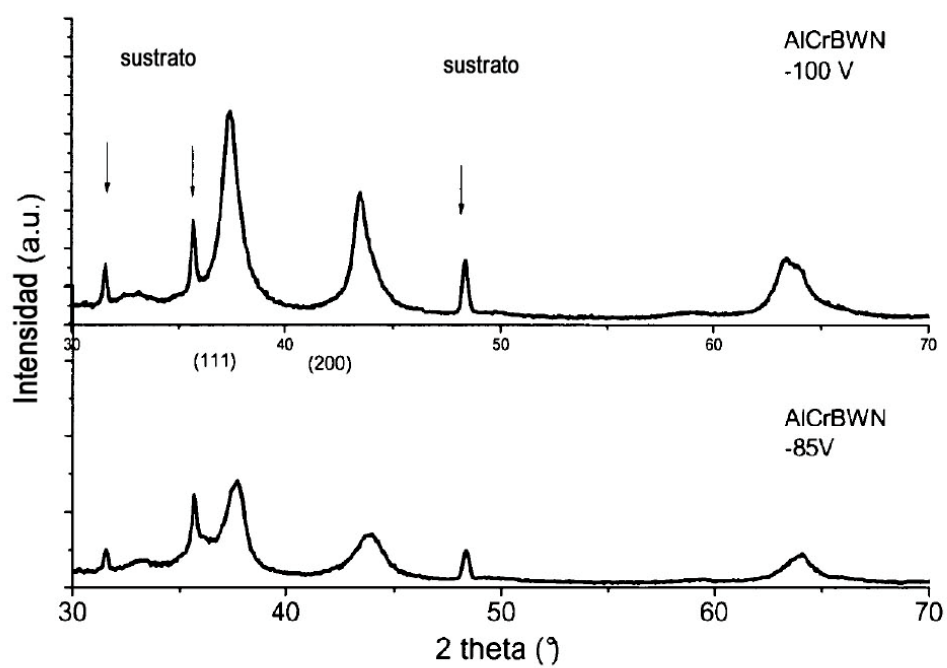


Fig 10