

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 570 537**

51 Int. Cl.:

C23C 14/08 (2006.01)
C23C 16/40 (2006.01)
C23C 16/02 (2006.01)
C23C 16/36 (2006.01)
C23C 16/56 (2006.01)
B23B 27/14 (2006.01)
C23C 30/00 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **26.06.2014 E 14174143 (9)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **03.02.2016 EP 2818573**

54 Título: **Herramienta de corte revestida**

30 Prioridad:

27.06.2013 EP 13174011

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

18.05.2016

73 Titular/es:

**SANDVIK INTELLECTUAL PROPERTY AB
(100.0%)
811 81 Sandviken, SE**

72 Inventor/es:

**ÖSTLUND, ÅKE;
EDMAN, JONNY;
LINDAHL, ERIK y
ENGQVIST, JAN**

74 Agente/Representante:

DE ELZABURU MÁRQUEZ, Alberto

ES 2 570 537 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

Herramienta de corte revestida

Campo técnico de la invención

5 La presente invención se refiere a una herramienta de corte revestida para el mecanizado con arranque de virutas de metales que comprende un sustrato que tiene una superficie revestida con un revestimiento por Deposición Química en Fase de Vapor (CVD). La herramienta de corte revestida de acuerdo con la presente invención es particularmente útil para el torneado de aceros, tales como aceros poco aleados, aceros al carbono y aceros endurecidos tenaces.

Antecedentes

10 La Deposición Química en Fase de Vapor (CVD) de revestimientos resistentes al desgaste sobre herramientas de corte de carburo cementado ha sido una práctica industrial durante más de 30 años. Las propiedades de las plaquitas revestidas se han mejorado constantemente a lo largo de los años; tiempo de vida útil y fiabilidad en términos de resistencia a la fractura del borde se han potenciado de forma considerable. Una mejora apreciable en el rendimiento de plaquitas de herramientas revestidas por CVD se produjo cuando hace aproximadamente 10 a 15 años comenzó a utilizarse Ti(C,N) producido por una técnica MTCVD (CVD con temperatura moderada) en la industria de las herramientas. Se obtuvo entonces una mejora en las propiedades de tenacidad de la plaquita de la herramienta de corte. Hoy en día, la mayoría de los productores de herramientas usa esta técnica. Los revestimientos de herramientas modernas de hoy en día incluyen también al menos una capa de Al_2O_3 para conseguir una elevada resistencia al desgaste y proteger el sustrato de carburo del calor excesivo durante el corte.

20 El documento EP 2 570 510 A1 describe (ejemplo 1) una herramienta de corte que comprende una capa de alfa Al_2O_3 con un coeficiente de textura TC(0 0 12) de 6,9.

El documento EP1953258A1 describe que una herramienta de corte provista con una capa de α -alúmina con una textura (001), medida por un pico de difracción intenso (006), da como resultado una tenacidad y una resistencia al desgaste mejoradas de la herramienta de corte. La tendencia a la deformación plástica del borde de corte se redujo.

25 El documento WO2013/037997 describe una plaquita de corte para el torneado de acero, que comprende una capa de α - Al_2O_3 con una textura (001), medida por un pico de difracción intenso (0 0 12). La plaquita se somete a un tratamiento de superficie de chorro de arena para proporcionar un estado de tensiones específico en la plaquita de corte.

Compendio de la invención

30 Un objeto de la invención es proporcionar una plaquita para una herramienta de corte revestida de alúmina con un comportamiento mejorado en operaciones de corte. Otro objeto de la invención es proporcionar una herramienta de corte revestida con resistencia al desgaste mejorada, por ejemplo, una mayor resistencia al desgaste de cráter y una resistencia potenciada por deformación plástica del borde de corte. Otro objeto de la invención es proporcionar una herramienta de corte con un alto rendimiento en el torneado de acero tales como aceros poco aleados, aceros al carbono y aceros endurecidos tenaces.

35 Estos objetos se consiguen mediante una herramienta de corte según la reivindicación 1. En las reivindicaciones dependientes se describen modos de realización preferidos.

40 La herramienta de corte según la presente invención comprende una herramienta de corte revestida que comprende un sustrato y un revestimiento, donde el revestimiento comprende una capa de MTCVD TiCN, y una capa de α - Al_2O_3 , donde la capa de α - Al_2O_3 presenta un patrón de difracción de rayos X, medido usando radiación de $CuK\alpha$ y barrido θ - 2θ , definiéndose el coeficiente de textura TC(hkl), según la fórmula de Harris

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1}$$

45 en la que $I(hkl)$ = intensidad medida (área integrada) de la reflexión (hkl), $I_0(hkl)$ = intensidad normalizada según la PDF-card N.º 00-010-0173 de la ICDD, n = número de reflexiones usadas en el cálculo, las reflexiones (hkl) usadas son (0 1 2), (1 0 4), (1 1 0), (1 1 3), (1 1 6), (3 0 0), (2 1 4) y (0 0 12), y donde TC(0 0 12) es mayor que 5, preferiblemente mayor que 6, lo más preferiblemente mayor que 7. Una capa de α - Al_2O_3 con una elevada TC(0 0 12) ha demostrado ser ventajosa como capa en una herramienta de corte debido a su mayor resistencia al desgaste de cráter y también a su capacidad para reducir la tendencia por deformación plástica del borde de la herramienta de corte.

50 Un modo de estudiar la textura en un revestimiento es el uso de lo que se denomina medida de la curva de oscilación (o Rocking curve), también denominada barrido ω . El principio de medida es para un ángulo 2θ fijo, que corresponde al

- valor d de un plano específico, y detectar la intensidad difractada cuando la muestra se bascula (u “oscila”), es decir, se hace un barrido del ángulo de incidencia ω . Si los planos están perfectamente alineados en paralelo con la superficie (por ejemplo, en un monocristal), se cumplirá la condición de Bragg cuando el ángulo ω es la mitad del ángulo 2θ y, por ello aparecerá un pico a un valor que corresponde a la mitad del valor 2θ . Para un monocristal perfecto el ensanchamiento del pico será igual a la divergencia del haz de rayos X incidente. Un mayor ensanchamiento del pico indica que la capa comprende granos texturados no alineados perfectamente con respecto a la superficie del sustrato.
- En la presente invención, el $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ muestra un valor elevado de TC(0 0 12), es decir, una textura 0 0 1 fuerte, y el grado de perfección de textura en la totalidad de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ se estudió analizando la curva de oscilación del plano 0 0 12.
- Un modo de expresar la agudeza de la curva de oscilación es calcular un anchura completa en el semimáximo (FWHM) de un pico. Un valor bajo de FWHM corresponde a un revestimiento muy bien texturado en toda la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$.
- Puesto que una elevada textura 0 0 1 ha mostrado ser ventajoso en la mayor resistencia al desgaste de cráter y en la resistencia a la deformación plástica, una elevada textura 0 0 1 en toda, o al menos en la mayor parte, del grosor del revestimiento se considera ventajoso. Esto ha demostrado ser ventajoso también en la mayor resistencia al desgaste del flanco del borde de corte.
- El revestimiento según la presente invención comprende una capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ con una anchura completa en el semimáximo (FWHM) de un pico de la curva de oscilación del plano (0 0 12) de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ usando una difracción de rayos X medida sobre la cara de incidencia de la herramienta de corte es una FWHM menor de 30° , preferiblemente menor de 26° , más preferiblemente menor de 22° .
- La herramienta de corte de acuerdo con la presente invención es para el mecanizado con arranque de virutas de metales y es preferiblemente una plaquita para torneado. El sustrato es el cuerpo que está revestido por el revestimiento de superficie. El cuerpo (es decir, el sustrato) puede estar realizado en un cermet o un carburo cementado. El cuerpo, en un modo de realización de la presente invención, está realizado en carburo cementado, en el que el carburo cementado comprende 4-15% en peso de Co, preferiblemente 6-8% en peso de Co, y preferiblemente 10-14% en volumen de carburos cúbicos de los metales de los grupos IV, V y VI de la Tabla Periódica, preferiblemente Ti, Nb y Ta.
- En un modo de realización el sustrato de carburo cementado comprende una zona de superficie enriquecida en cobalto de la intercara entre el cuerpo y el revestimiento hasta una profundidad de 15-25 μm en el cuerpo que esencialmente está exento de carburos cúbicos, aportando a la plaquita de corte una excelente tenacidad con mantenimiento de la resistencia a la deformación plástica.
- En un modo de realización de la presente invención la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ es de 2-15 μm , preferiblemente 3-7 μm , lo más preferiblemente 4-6 μm .
- En un modo de realización de la presente invención la capa de TiCN es de 2-15 μm , preferiblemente 5-12 μm , lo más preferiblemente 7-11 μm .
- En un modo de realización de la presente invención, la herramienta de corte se ha sometido a un tratamiento con chorro de arena para aumentar las propiedades de tenacidad del revestimiento. El tratamiento con chorro de arena afecta el estado de tensiones del revestimiento. Un tratamiento con chorro de arena demasiado intenso conducirá a la formación de grietas y a quebrar el revestimiento. La fuerza de impacto del chorro de arena puede controlarse mediante, por ejemplo, la presión de la pasta de tratamiento con chorro de arena, el diseño de la boquilla de tratamiento con chorro de arena, la distancia entre la boquilla de tratamiento con chorro de arena y la superficie del revestimiento, el tipo de medio de tratamiento con chorro de arena, el tamaño del grano del medio de tratamiento con chorro de arena, la concentración del medio de tratamiento con chorro de arena en el fluido de tratamiento con chorro de arena y el ángulo de impacto del chorro.
- Un modo de medir el estado de tensiones en el revestimiento es estudiando el ensanchamiento de un pico específico en un barrido de rayos X θ - 2θ . El pico es típicamente más ancho para un revestimiento con un mayor gradiente de tensiones que para un revestimiento sin gradiente de tensiones. La anchura del pico medida después del tratamiento con chorro de arena dará una medida indirecta del gradiente de tensiones en el revestimiento si la anchura del pico se compara con la anchura de pico del mismo pico medida cuando se depositó el revestimiento.
- El plano cristalino intuitivo para usar para un análisis es el plano en paralelo con la superficie del plano de revestimiento texturado que está en paralelo con la superficie del sustrato y preferiblemente un pico a un valor de 2θ . En este caso, se selecciona el pico (0 0 12). El pico (0 0 12) resulta ventajoso porque tiene una posición a un ángulo bastante elevado, y por tanto, un pequeño cambio en el parámetro de red da un cambio relativamente grande en la anchura del pico.
- La anchura del pico de difracción de un revestimiento tratado con chorro de arena puede compararse con la anchura

5 del pico de difracción de un revestimiento no tratado con chorro de arena o, del mismo revestimiento después de la relajación de tensiones por tratamiento térmico como se describe más adelante. Esta diferencia se define aquí como diferencia Δ , donde la diferencia $\Delta = \text{FWHM}(\text{sometido a tensiones}) - \text{FWHM}(\text{no sometido a tensiones})$, es decir, la diferencia entre la anchura completa en el semimáximo (FWHM) del pico de difracción, y la anchura completa en el semimáximo (FWHM) del pico de difracción en un estado anterior al tratamiento con chorro de arena. Por ejemplo, en una herramienta de corte que comprende una cara de incidencia y una cara de ataque, y en la que solo la cara de ataque ha sido tratada con chorro de arena, el pico de difracción de la cara de incidencia puede compararse con el pico de difracción correspondiente de la cara de ataque.

10 En un modo de realización de la presente invención un estado de tensiones en la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ cambia desde su estado de tensiones en el momento en que se depositó, y en el que la forma del pico de difracción 2 θ (0 0 12) ha cambiado tal que la diferencia Δ llega a ser $\Delta > 0,20$, preferiblemente $\Delta > 0,3$, más preferiblemente $\Delta > 0,4$, o $\Delta > 0,5$, o $\Delta > 0,6$ o $\Delta > 0,7$. Se lleva a cabo preferiblemente un tratamiento con chorro de arena, preferiblemente con granos de Al_2O_3 . El ángulo entre el haz de la suspensión de tratamiento con chorro de arena desde la pistola de tratamiento con chorro de arena a la superficie de la herramienta de corte durante el tratamiento con chorro de arena, y la superficie de la herramienta de corte puede ser, por ejemplo, 70-110°, preferiblemente aproximadamente 90°.

15 En un modo de realización de la presente invención una diferencia Δ entre la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X del $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en la cara de ataque de la herramienta de corte y la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X del $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en la cara de incidencia de la herramienta de corte es $\Delta > 0,2$, preferiblemente $\Delta > 0,3$, lo más preferiblemente $\Delta > 0,4$, o $\Delta > 0,5$, o $\Delta > 0,6$ o $\Delta > 0,7$. Este modo de medir la diferencia Δ es adecuado si la plaquita se somete a tratamiento con chorro de arena, por ejemplo, en su cara de ataque.

20 En un modo de realización de la presente invención una diferencia Δ entre la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ y la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de una herramienta de corte después de tratamiento térmico a 1030 °C en N_2 durante 3 horas es $\Delta > 0,2$, preferiblemente $\Delta > 0,3$, lo más preferiblemente $\Delta > 0,4$, o $\Delta > 0,5$, o $\Delta > 0,6$ o $\Delta > 0,7$. Este modo de medir la diferencia Δ es adecuado si la plaquita se ha sometido a tratamiento con chorro de arena en todas sus superficies externas.

25 Si no está disponible una superficie no sometida a tratamiento con chorro de arena como superficie de referencia, puede tratarse una plaquita tratada con chorro de arena a 1030 °C en una atmósfera de N_2 durante 3 horas con el fin de llevarla de nuevo al estado de tensiones original, es decir, hacerla comparable con el estado no tratado con chorro de arena. Esto se demuestra en el Ejemplo 7.

30 Se apreciará que el estado de tensiones del revestimiento después de un procedimiento de CVD, es decir, tal como se ha revestido o depositado, no está exento de tensiones residuales. Normalmente, un revestimiento de CVD en un sustrato de carburo cementado está sometido a tensiones por tracción residual, que producen grietas en el revestimiento CVD. El tratamiento térmico que se ha descrito antes es para volver a transformar el revestimiento CVD en un estado de tensiones que corresponda a uno previo al tratamiento con chorro de arena.

35 En un modo de realización de la presente invención la capa de TiCN presenta un patrón de difracción de rayos X, medido usando radiación de $\text{CuK}\alpha$, en el que la relación entre la intensidad del área integrada del pico 220 (I_{220}) y la intensidad del área integrada del pico 311 (I_{311}), I_{220}/I_{311} , es menor de 3, preferiblemente menor de 2, lo más preferiblemente menor de 1,5, o menor de 1, o menor de 0,5 o menor de 0,3. Esto ha demostrado ser preferible para obtener una textura 0 0 1 fuerte en toda la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Para obtener tales capas de TiCN MTCVD es beneficioso el uso de razones en volumen de $\text{TiCl}_4/\text{CH}_3\text{CN}$ mayores de 2 en el procedimiento MTCVD.

40 En un modo de realización la capa de TiCN presenta un patrón de difracción de rayos X, medido usando radiación de $\text{CuK}\alpha$, donde la relación entre la intensidad del área integrada del pico 220 (I_{220}) y la intensidad del área integrada del pico 422 (I_{422}), I_{220}/I_{422} , es menor de 3, preferiblemente menor de 2, lo más preferiblemente menor de 1,5, o menor de 1, o menor de 0,5 o menor de 0,3.

45 Otros objetos, ventajas y características novedosas de la invención serán evidentes a partir de la siguiente descripción detallada de la invención cuando se considere en combinación con los dibujos y reivindicaciones que se acompañan.

Descripción detallada de modos de realización preferidos

A continuación se describirán con más detalle ejemplos de modos de realización de la presente invención.

Ejemplo 1 - Deposición del revestimiento

50 Muestra A (invención)

Se fabricaron herramientas de corte revestidas (plaquitas) según un modo de realización de la invención. Se fabricaron sustratos de carburo cementado de CNMG120408 tipo ISO para torneado a partir de 7,2 % en peso de Co, 2,7 % en peso de Ta, 1,8 % en peso de Ti, 0,4 % en peso de Nb, 0,1% en peso de N y el resto WC, que comprende una zona de superficie enriquecida en Co de aproximadamente 25 μm desde la superficie del sustrato hasta una profundidad en el cuerpo que esté esencialmente exenta de carburos cúbicos.

Los sustratos se sometieron a un procedimiento de revestimiento por CVD en un equipo CVD tipo Ionbond tamaño 530 capaz de alojar 10000 plaquitas de corte de un tamaño de 1,27 cm.

5 Las plaquitas se revistieron primero con una capa de TiN delgada de aproximadamente 0,4 μm y luego con una capa de TiCN de 9 μm empleando la técnica de MTCVD bien conocida usando TiCl_4 , CH_3CN , N_2 , HCl y H_2 a 885 °C. La razón en volumen de $\text{TiCl}_4/\text{CH}_3\text{CN}$ durante la deposición de MTCVD de la capa de TiCN fue de 2,2.

En la parte superior de la capa de TiCN por MTCVD había una capa de unión de 1- 2 μm de grosor depositada a 1000 °C por un procedimiento que consistía en tres etapas de reacción separadas. Primero una etapa de TiCN usando TiCl_4 , CH_4 , N_2 , HCl y H_2 a 40000 Pa, luego una segunda etapa usando TiCl_4 , CH_3CN , CO , N_2 , HCl y H_2 a 7000 Pa y finalmente una tercera etapa usando TiCl_4 , CH_3CN , AlCl_3 , CO , N_2 y H_2 a 7000 Pa.

10 Antes de iniciar la nucleación de Al_2O_3 , la capa de unión se oxidó durante 4 minutos en una mezcla de CO_2 , CO , N_2 y H_2 .

15 La capa de Al_2O_3 se depositó a 1000 °C y 5500 Pa en dos etapas. La primera etapa usando 1,2% en volumen de AlCl_3 , 4,7% en volumen de CO_2 , 1,8% en volumen de HCl y el resto H_2 dando aproximadamente 0,1 μm de Al_2O_3 y la segunda etapa usando 1,2% de AlCl_3 , 4,7% de CO_2 , 2,9% de HCl , 0,6% de H_2S y el resto H_2 dando un grosor total de la capa de Al_2O_3 de aproximadamente 5 μm .

Se aplicó una capa más externa que comprende TiN con un grosor de aproximadamente 1 μm .

Muestra B (referencia)

Se fabricaron plaquitas revestidas en un procedimiento que corresponde al de la Muestra A, salvo porque se usó un procedimiento de deposición de revestimiento por CVD diferente como se describe a continuación.

20 Las plaquitas se revistieron en primer lugar con una capa delgada de aproximadamente 0,4 μm de TiN y luego con una capa de TiCN de 9 μm empleando la técnica de MTCVD bien conocida usando TiCl_4 , CH_3CN , N_2 , H_2 y opcionalmente con ligera adición de HCl a 885 °C. La razón en volumen de $\text{TiCl}_4/\text{CH}_3\text{CN}$ se mantuvo mayor de 2 durante la deposición de la capa de TiCN.

25 En la parte superior de la capa de TiCN por MTCVD había una capa de unión de 1-2 μm de grosor depositada a 1000 °C usando dos etapas de reacción separadas. Primero una etapa de TiCN usando TiCl_4 , CH_4 , N_2 y H_2 a 5500 Pa, luego una segunda etapa usando TiCl_4 , CO y H_2 a una presión de 5500 Pa.

Antes de iniciar la nucleación de Al_2O_3 , la capa de unión se oxidó mediante una mezcla de CO_2 , HCl y H_2 durante un corto período de tiempo, aproximadamente 2 minutos.

30 La capa de Al_2O_3 se depositó a 1000 °C y 5500 Pa en dos etapas. Durante la primera etapa se usaron los siguientes gases: 1,2% en volumen de AlCl_3 , 4,7% en volumen de CO_2 , 1,8% en volumen de HCl y el resto H_2 dando aproximadamente 0,1 μm de Al_2O_3 . La segunda etapa se realizó usando 1,2% en volumen de AlCl_3 , 4,7% en volumen de CO_2 , 2,9% en volumen de HCl , 0,6% en volumen de H_2S y el resto H_2 dando un grosor total de la capa de Al_2O_3 de aproximadamente 5 μm .

Se aplicó una capa más externa que comprende TiN con un grosor de aproximadamente 1 μm .

35 Ejemplo 2 - Tratamiento con chorro de arena

40 El tratamiento con chorro de arena se llevó a cabo en las caras de ataque de las herramientas de corte. La suspensión de tratamiento con chorro de arena consistía en un 20% en volumen de alúmina en agua y un ángulo de 90° entre la cara de ataque de la plaquita de corte y la dirección de la suspensión de tratamiento con chorro de arena. La distancia entre la boquilla de la pistola y la superficie de la plaquita fue de aproximadamente 145 mm. La presión de la suspensión a la pistola fue de 180 kPa para todas las muestras, mientras que la presión de aire a la pistola fue de 210 kPa (tratamiento de chorro de arena 1), 220 kPa (tratamiento de chorro de arena 2) o 250 kPa (tratamiento de chorro de arena 3). Los polvos de alúmina eran de un tamaño de malla F220 (FEPA 42-1:2006). El tiempo medio de chorro de arena por área de la superficie fue de 4,4 segundos. Se evaluaron tres tratamientos de chorro de arena diferentes para la Muestra A. La Muestra A tratada con el tratamiento de chorro de arena 1 se denomina a continuación Muestra A1, y si se trata con el tratamiento de chorro de arena 2 se denomina Muestra A2, y si se trata con el tratamiento de chorro de arena 3 se denomina Muestra A3. La Muestra B se trató por chorro de arena con el tratamiento de chorro de arena 2 (Muestra B2).

Ejemplo 3 - Mediciones de TC(0 0 12) de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$

50 Para las mediciones se usaron rayos X de Cu-K_α . Los espejos unidos a la fuente de rayos X microfocal enfocan el haz a aproximadamente 0,8 x 0,8 mm sin colimador puntiforme. Las mediciones se realizaron con un voltaje de 50 kV y una corriente de 1 mA, dando lugar a una potencia máxima de 50 W. Se usó un colimador puntiforme de 0,5 mm con el fin de poder medir sobre áreas planas pequeñas en la cara de ataque de las plaquitas. La intensidad difractada de la

muestra se midió con tres imágenes, con el detector de área en diferentes posiciones 2θ , dando lugar a información de difracción entre 15 y 105° en 2θ . Las imágenes se fusionaron a continuación en el programa Brukers EVA (V3.0) y se convirtieron a difractogramas 1 D por integración en lo que el programa Bruker definía como dirección Gamma.

- 5 Con el fin de investigar la textura de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ se llevó a cabo difracción de rayos X usando radiación de $\text{CuK}\alpha$ y los coeficientes de textura TC (hkl) para diferentes direcciones de crecimiento de los granos columnares de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ se calcularon según la fórmula de Harris:

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1}$$

- 10 en la que $I(hkl)$ = intensidad medida (área integrada) de la reflexión (hkl), $I_0(hkl)$ = intensidad normalizada según la PDF-card N.º 00-010-0173 de la ICDD, n = número de reflexiones usadas en el cálculo. En este caso las reflexiones (hkl) usadas son: (0 1 2), (1 0 4), (1 1 0), (1 1 3), (1 1 6), (2 1 4), (3 0 0) y (0 0 12).

- 15 El análisis de los datos, incluyendo la resta del valor de partida, desgaste de $\text{Cu-K}\alpha_2$ y ajuste del perfil de los datos se realizó usando el programa X'Pert HighScore Plus de PANalytical. Los resultados (áreas de pico integradas para la curva ajustada del perfil) a partir de este programa se usaron a continuación para calcular los coeficientes de textura de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ comparando la razón de los datos de intensidad medidos con los datos de intensidad normalizados (registro PDF n.º 10-0173), usando la fórmula de Harris. Puesto que la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ era una película de grosor finito, las intensidades relativas de una pareja de picos a diferentes ángulos 2θ son diferentes a las de las muestras en bruto, debido a las diferencias en la longitud de trayecto a través del $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Por tanto, se aplicó corrección de película delgada a las intensidades del área de pico integradas para la curva ajustada al perfil, teniendo en cuenta también el coeficiente de absorción lineal del $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$, cuando se calculan los valores de TC. Puesto que posibles capas adicionales por encima de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ afectarán a las intensidades de rayos X que entran en la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ y salen de revestimiento completo, es necesario también realizar correcciones para estas, teniendo en cuenta el coeficiente de absorción lineal para el compuesto respectivo en una capa. De forma alternativa, puede retirarse una capa más, tal como TiN, por encima de la capa de alúmina por un procedimiento que no influya sustancialmente en los resultados de la mediciones de difracción de rayos X, por ejemplo, por ataque ácido.

- 25 Los valores TC(0 0 12) para la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ de la Muestra A1, A2, A3 y B2, medida en la cara de ataque, se muestran en la Tabla 2.

Ejemplo 4 - Mediciones de intensidad del área, I_{220}/I_{311} , de TiCN

- 30 El equipo usado para las mediciones de difracción de rayos X de la capa de TiCN fue el mismo que para las mediciones de TC de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ en el Ejemplo 3 usando la misma metodología y equipo. En este caso, se midió la cara de incidencia no tratada con chorro de arena.

Con el fin de investigar las intensidades de los picos (área de pico integrada) de la capa de TiCN se llevó a cabo difracción de rayos X usando radiación de $\text{CuK}\alpha$.

- 35 El análisis de los datos, incluyendo la resta del valor de partida, desgaste de $\text{Cu-K}\alpha_2$ y ajuste del perfil de los datos se realizó usando el programa X'Pert HighScore Plus de PANalytical. Los resultados de este programa fueron las áreas de pico integradas para la curva ajustada del perfil. Puesto que la capa de TiCN era una película de grosor finito, las intensidades relativas de una pareja de picos a diferentes ángulos 2θ son diferentes a las de las muestras en bruto, debido a las diferencias en la longitud de trayecto a través de la capa de TiCN. Por tanto, se aplicó corrección de película delgada a las intensidades del área de pico integradas para la curva ajustada al perfil, teniendo en cuenta también el coeficiente de absorción lineal del TiCN. Puesto que posibles capas adicionales por encima de la capa de TiCN afectarán a las intensidades de rayos X que entran en la capa de TiCN y salen de revestimiento completo, es necesario también realizar correcciones para estas, en especial si su grosor es sustancial, en este caso la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ y la capa superior de TiN, teniendo en cuenta el coeficiente de absorción lineal para el compuesto respectivo en una capa.

- 45 Se apreciará que el solapamiento de picos es un fenómeno que puede producirse en el análisis de difracción de rayos X de revestimientos que comprenden, por ejemplo, varias capas cristalinas y/o que están depositados sobre un sustrato que comprende fases cristalinas, y esto debe considerarse y compensarse por el experto en la técnica. Un solapamiento de picos correspondiente a picos de la capa de $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ con picos de la capa de TiCN podría influir en la razón I_{220}/I_{311} y/o I_{220}/I_{422} . Se apreciará también que, por ejemplo, el WC en el sustrato puede tener picos de difracción cercanos a los picos relevantes de la presente invención.

- 50 En la Tabla 1 se muestran los valores de intensidad del área (valores corregidos) para TiCN.

Tabla 1 (Relaciones de intensidad)

TiCN	I ₂₂₀	I ₃₁₁	I ₂₂₀ /I ₃₁₁
Muestra A1	8,2	20,3	0,4
Muestra A2	12,3	17,2	0,7
Muestra A3	11,4	18,3	0,6
Muestra B2	6,1	5,6	1,1

Ejemplo 5 - Mediciones de la curva de oscilación

- 5 Las mediciones de la curva de oscilación se llevaron a cabo en un equipo Philips MRD (Difractómetro de Materials Research). El difractómetro operó en el foco lineal con radiación de CuK α (tanto α_1 como α_2). La óptica de incidencia fue un espejo de rayos X con una divergencia de 0,04° y un colimador de rendija cruzada. La óptica lateral difractada fue un colimador de placa paralelo de 0,27° y un detector puntual proporcional de gas. A un ángulo 2 θ fijo de 90,665°, se realizó el barrido de ω entre 6,3 y 69,3° con un tamaño de etapa de 1° y 10 s/etapa en modo continuo. La capa externa, tal como TiN, por encima de la capa de alúmina puede retirarse por un procedimiento que no influye de forma sustancial en los resultados de las mediciones de difracción de rayos X, por ejemplo, ataque ácido. Puesto que la capa de α -Al₂O₃ es de un grosor finito, la longitud del trayecto del haz de rayos X en la capa de α -Al₂O₃ será diferente en función del ángulo omega, para el cual es necesario corregir los datos de intensidad. Esto puede realizarse teniendo en cuenta el grosor y el coeficiente de absorción como se describe por ejemplo, por Birkholz (Thin Film Analysis by X-ray Scattering, 2006, Wiley-VCH Verlag, ISBN 3-527-31052-5, capítulo 5.5.3, páginas 211-215).
- 10
- 15 En la Tabla 2 se muestran los resultados de las mediciones de la curva de oscilación, medidos en la cara de incidencia.

Ejemplo 6 - Diferencia Δ entre los picos FWHM (0 0 12) en el barrido θ -2 θ

- Se midió la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en un barrido θ -2 θ de una difracción de rayos, que corresponde a la descrita en el Ejemplo 3, en la cara de ataque tratada con chorro de arena y en la cara de incidencia no tratada con chorro de arena.
- 20 Se midió en los gráficos la diferencia Δ entre la FWHM del pico (0 0 12) en el barrido θ -2 θ en la cara de ataque y la FWHM del pico (0 0 12) en el barrido θ -2 θ en la cara de incidencia (no tratada con chorro de arena). Los resultados se muestran en la Tabla 2, presentados como la diferencia Δ =FWHM(ataque) - FWHM(incidencia).

Tabla 2 Tratamiento con chorro de arena

α -Al ₂ O ₃	TC (0 0 12) cara de ataque, tratada con chorro de arena	Curva de oscilación FWHM de (0 0 12) cara de incidencia (° ω)	Parámetros del tratamiento con chorro de arena (presión (MPa)/tiempo (segundos))	Diferencia Δ (FWHM(ataque) - FWHM(incidencia)) (°2 θ)
Muestra A1	7,42	18,7	2,1/4,4	0,27
Muestra A2	7,42	20,5	2,2/4,4	0,59
Muestra A3	7,31	20,3	2,5/4,4	0,84
Muestra B2	5,4	36	2,2/4,4	0,46

Ejemplo 7 - Tratamiento térmico

- 25 Para verificar que un tratamiento térmico transforma un revestimiento tratado con chorro de arena de nuevo hasta su estado de tensiones anterior al tratamiento con chorro de arena, se llevó a cabo el siguiente experimento. Una plaquita de corte que se había tratado por chorro de arena en su cara de ataque mostró una diferencia Δ =FWHM(ataque) - FWHM(incidencia) de 0,51. La plaquita se termotrató durante 3 horas a 1030 °C en N₂. Después del tratamiento térmico, la diferencia Δ =FWHM(ataque) - FWHM(incidencia) fue de 0,08. Por tanto, puede usarse un
- 30 tratamiento térmico correspondiente en el caso de que la plaquita no solo se trate con chorro de arena en la cara de ataque, sino también en la cara de incidencia, para producir un revestimiento que es similar al de una cara de incidencia no tratada con chorro de arena.

Ejemplo 8 - Prueba de desgaste de cráter

Las herramientas de corte revestidas que se trataron con chorro de arena de acuerdo con el Ejemplo 2, es decir, las muestras A1, A2, A3, B2, se probaron en torneado longitudinal en acero para cojinetes de bolas (100CrMo7-3) usando los siguientes datos de corte:

- 5 Velocidad de corte v_c : 220 m/min
- Avance de corte, f : 0,3 mm/revolución
- Profundidad de corte, a_p : 2 mm
- Tipo de plaquita: CNMG120408-PM

Se usó fluido de trabajo para el metal miscible en agua.

- 10 Se evaluó un borde de corte por herramienta de corte.

Al analizar el desgaste de cráter, se midió el área del sustrato expuesta, usando un microscopio óptico. Cuando el área de la superficie del sustrato expuesta superó $0,2 \text{ mm}^2$ se considera que se ha alcanzado el tiempo de vida útil de la herramienta. El desgaste de cada herramienta de corte se evaluó después de 2 minutos de corte en el microscopio óptico. El proceso de corte se continuó entonces con una medición después de cada 2 minutos de funcionamiento, hasta que se alcanza el criterio de vida útil de la herramienta. Cuando el tamaño del área de cráter superó $0,2 \text{ mm}^2$, se cumplió el tiempo hasta el criterio de vida útil de la herramienta y esto se estimó basándose en una velocidad de desgaste constante supuesta entre las dos últimas mediciones. Además del desgaste de cráter, también se observó el desgaste del flanco, pero en esta prueba no influyó en la vida útil de la herramienta. Los resultados se muestran en la Tabla 3.

- 20 Ejemplo 9 - Prueba de tenacidad

Las herramientas de corte revestidas del Ejemplo 2, es decir, Muestras A2, A2, A3, B2 se probaron en una prueba de tenacidad.

- 25 El material de la probeta de trabajo consiste en dos barras de acero al carbono (Fe 360C), montadas en paralelo entre sí con una distancia entre ellas. En el torneado longitudinal de esta probeta de trabajo la herramienta de corte será expuesta a dos interrupciones por revolución. En esta prueba se ha demostrado que la tenacidad de la herramienta de corte es crítica para su tiempo de vida útil.

Se usaron los siguientes datos de corte.

- Velocidad de corte v_c : 80 m/min
- Profundidad de corte a_p : 1,5 mm

- 30 Se usó fluido de trabajo para el metal miscible en agua.

El avance de corte se aumentó linealmente. El valor de partida fue $0,15 \text{ mm/revolución}$. Después de 1 minuto de corte, el valor de avance fue $0,30 \text{ mm/revolución}$ y después de 2 minutos de corte, el valor de avance fue $0,45 \text{ mm/revolución}$.

- 35 Se usó un equipo para medir las fuerzas de corte. Cuando se produjo una rotura de la plaquita, la fuerza de corte aumentó claramente y se detuvo la máquina. Se evaluaron 15 bordes de corte por muestra. Se registró el valor real del avance de corte en la rotura para cada uno de los 15 bordes de corte. Los valores se clasificaron del valor del avance de fractura menor al mayor, para cada borde de corte. Los resultados se muestran en la Tabla 3, que presenta el avance en la fractura para el borde número 3, el valor de la mediana para los 15 bordes y el valor para el borde número 13.

- 40

Tabla 3 (Rendimiento frente al desgaste)

α -Al ₂ O ₃	Prueba de resistencia al desgaste de cráter (min)	Prueba de tenacidad Avance en la fractura (mm/revolución)		
		3°	Mediana	13°
Muestra A1	34,7	0,24	0,26	0,30
Muestra A2	31,7	0,29	0,33	0,36
Muestra A3	36,7	0,48	0,57	0,60
Muestra B2	28,9	0,27	0,30	0,32

5 La prueba de resistencia al desgaste de cráter muestra que una capa de α -Al₂O₃ con un TC(0 0 12) de aproximadamente 7,4, una FWHM de una curva de oscilación de aproximadamente 20 y un valor I_{220}/I_{311} de aproximadamente 0,4-0,7 proporciona una mayor resistencia al desgaste de cráter que una capa de α -Al₂O₃ con un TC(0 0 12) de aproximadamente 5,4, una FWHM de una curva de oscilación de aproximadamente 36 y un valor I_{220}/I_{311} de aproximadamente 1,1.

La prueba de tenacidad muestra que un tratamiento con chorro de arena suficiente para proporcionar una diferencia Δ mayor de 0,2 da como resultado una herramienta de corte con buen rendimiento. Además, como se muestra por los resultados, una mayor presión de tratamiento con chorro de arena proporciona una herramienta de corte más tenaz.

10 Aunque la invención se ha descrito en relación con diversos modos de realización ejemplares, se sobreentiende que la invención no queda limitada a los modos de realización ejemplares descritos, por el contrario, se pretende abarcar diversas modificaciones y disposiciones equivalentes dentro de las reivindicaciones adjuntas.

REIVINDICACIONES

1. Una herramienta de corte revestida que comprende un sustrato y un revestimiento, en la que el revestimiento comprende

una capa de MTCVD TiCN, y

5 una capa de α -Al₂O₃,

en la que la capa de α -Al₂O₃ presenta un patrón de difracción de rayos X, medido usando radiación de CuK α y barrido θ -2 θ , donde el coeficiente de textura TC(hkl) se define, según la fórmula de Harris

$$TC(hkl) = \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \left[\frac{1}{n} \sum_{n=1}^n \frac{I(hkl)}{I_0(hkl)} \right]^{-1}$$

en la que I(hkl) = intensidad medida (área integrada) de la reflexión (hkl),

10 $I_0(hkl)$ = intensidad normalizada según la PDF-card N.º 00-010-0173 de la ICDD,

n = número de reflexiones usadas en el cálculo,

las reflexiones (hkl) usadas son (0 1 2), (1 0 4), (1 1 0), (1 1 3), (1 1 6), (3 0 0), (2 1 4) y (0 0 12), y caracterizada por que el TC(0 0 12) es mayor de 5, preferiblemente mayor de 6, lo más preferiblemente mayor de 7, y donde

15 una anchura completa en el semimáximo (FWHM) de un pico de la curva de oscilación del plano (0 0 12) de α -Al₂O₃ usando difracción de rayos X medida en la cara de incidencia de la herramienta de corte es FWHM menor de 30°, preferiblemente menor de 26°, más preferiblemente menor de 22°, y donde

la capa de TiCN presenta un patrón de difracción de rayos X, medido usando radiación de CuK α , donde la razón entre la intensidad del área integrada del pico 220 y la intensidad del área integrada del pico 311, I_{220}/I_{311} , es menor de 3, preferiblemente menor de 2, lo más preferiblemente menor de 1.

20 2. La herramienta de corte según la reivindicación 1, en la que una diferencia Δ entre la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de la capa de α -Al₂O₃ en la cara de ataque de la herramienta de corte y la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de α -Al₂O₃ en la cara de incidencia de la herramienta de corte es $\Delta > 0,2$, preferiblemente $> 0,3$, lo más preferiblemente $\Delta > 0,4$.

25 3. La herramienta de corte según la reivindicación 1, en la que una diferencia Δ entre la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de la capa de α -Al₂O₃ y la FWHM del pico de difracción (0 0 12) en una difracción de rayos X de una herramienta de corte después de tratamiento térmico a 1030 °C en N₂ durante 3 horas es $\Delta > 0,2$, preferiblemente $\Delta > 0,3$, lo más preferiblemente $\Delta > 0,4$.

4. La herramienta de corte según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la capa de α -Al₂O₃ es 2-15 μ m, preferiblemente 3-7 μ m, lo más preferiblemente 4-6 μ m.

30 5. La herramienta de corte según cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que la capa de TiCN es 2-15 μ m, preferiblemente 5-12 μ m, lo más preferiblemente 7-11 μ m.