



19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

11 Número de publicación: **2 361 281**

51 Int. Cl.:
C23C 30/00 (2006.01)
C23C 14/06 (2006.01)
C23C 14/32 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Número de solicitud europea: **05758488 .0**
96 Fecha de presentación : **14.07.2005**
97 Número de publicación de la solicitud: **1771602**
97 Fecha de publicación de la solicitud: **11.04.2007**

54 Título: **Materiales de revestimiento duros, con alta resistencia a la oxidación para herramientas de corte.**

30 Prioridad: **15.07.2004 US 588084 P**

45 Fecha de publicación de la mención BOPI:
15.06.2011

45 Fecha de la publicación del folleto de la patente:
15.06.2011

73 Titular/es: **OERLIKON TRADING AG., TRÜBBACH
9477 Trübbach, CH**

72 Inventor/es: **Endrino, José;
Derflinger, Volker y
Gey, Christoph**

74 Agente: **Elzaburu Márquez, Alberto**

ES 2 361 281 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

Materiales de revestimiento duros, con alta resistencia a la oxidación para herramientas de corte

5 CAMPO DE LA INVENCION

10 La invención se refiere a un revestimiento duro con resistencia a la oxidación sumamente alta, para un cuerpo que requiere especialmente protección al desgaste. Se refiere, además, a una herramienta revestida, en especial herramientas de corte revestidas con un acero rápido, un carburo cementado o un nitruro de boro cúbico (CBN), tales como fresas radiales, brocas de perforación, inserciones de corte y fresas (de corte y generatrices) para tallar engranajes. Por consiguiente, la invención se refiere también a partes de máquinas revestidas, resistentes al desgaste, en particular componentes mecánicos tales como bombas, engranajes, aros de pistón, inyectores de combustible, etc.

15 TÉCNICA RELACIONADA

20 El documento A (JP 2002-337007), titulado "Herramienta revestida con un revestimiento duro", describe la presencia de partículas finas, amorfas, de CrAlSiN en un revestimiento de CrAlN, que proporciona alta resistencia a la oxidación a la herramienta de corte. El documento B, EP 1 422 311 A2, se refiere a un revestimiento de CrAlSi (NBCO) de alto contenido de Al que posee una estructura cristalina del tipo de la de NaCl. El documento C, JP 2002-337005, describe una herramienta con un revestimiento resistente a la abrasión en el que al menos una capa está hecha de CrAlN y otra capa está hecha de una clase de CrSiBN. El documento D, JP 2002-160129, describe una herramienta con una entrecapas de un material a base de Ti, Cr, Si o Al, que después se reviste con una película dura a base de AlCrN. El documento E, JP 10-025566, se refiere aun revestimiento de CrAlN con propiedades de resistencia a la oxidación a alta temperatura. El artículo científico (documento F) de Lugscheider et al., en Surface and Coatings Technology v. 174-175, páginas 681-686 (2003), se refiere a investigaciones de propiedades mecánicas y tribológicas de revestimientos delgados de CrAlN + C depositados sobre herramientas de corte, en especial a revestimientos de CrAlN+C con comportamiento tribológico de rozamiento bajo, informando de que posee un efecto beneficioso para aplicaciones de corte y perforación. Las actas de la 4ª Conferencia Internacional, The Coatings in Manuf. Engineering, páginas 111-120 (2004), por Uhlmann et al., exponen nuevos desarrollos para herramientas de corte de alto rendimiento (documento G). La publicación se refiere a la deposición de revestimientos duros de varias capas de CrN/ TiAlN, CrMoTiAlN y CrAlVN. En el documento "Un estudio comparativo de revestimientos de nitruros nanocristalinos de titanio aluminio y cromo aluminio pulverizados conjuntamente por bombardeo iónico por magnetrón" (Scripta Materialia, vol. 50 nº 12, Junio, 2004, Elsevier) Wuhner et al. investigan en un estudio comparativo revestimientos de (Ti,Al)N y de (Cr,Al)N. Wuhner describe la dependencia de diversos parámetros físicos tales como el tamaño del grano, la velocidad de deposición y la microdureza, de la presión de nitrógeno aplicada durante la deposición. Para ambos tipos de revestimientos ha indicado Wuhner que al aumentar la presión de nitrógeno disminuyen las velocidades de posición, el diámetro del grano y la microdureza.

40 G.E. D'Errico et al. investigan en "Un estudio de revestimientos para fresas radiales en el corte de metales a alta velocidad" (J.o, Material Processing Technology (vol. 92-93, Agosto, 1999, página 251 ff) varios revestimientos comerciales a base de Ti, sobre herramientas, que incluyen TiAlNbN. D'Errico expone diversos resultados con respecto al comportamiento y el coste de trabajo a máquina de diferentes materiales de trabajo

45 El documento WO 2004/059030 es un documento intermedio que describe piezas de trabajo específicas con revestimientos duros específicos a base de AlCrN e impurificados (dopados) con Nb, W o Mo.

50 En [A], [B] y [C], revestimientos anódicos duros están compuestos de una capa de un sistema a base de CrAl que contiene por lo menos un elemento de silicio u oxígeno, que es responsable del aumento del grado de dureza y del aumento de la resistencia a la oxidación a alta temperatura, reduciendo la velocidad de desgaste por abrasión y la oxidación, sobre herramientas de corte. En [D] un material básico es revestido primeramente con una capa de Ti, Cr, Si o Al y se forma sobre la parte superior una capa dura de AlCrN. La capa metálica intermedia se usa como una capa "tampón" de absorción de la deformación para igualar cualquier deformación que ocurra debido a la diferencia de dilatación térmica existente entre el revestimiento y la herramienta. En [E], se forma un revestimiento duro de AlCrN por deposición física en fase de vapor de grupos objeto de Al y Cr, en una atmósfera reactiva de nitrógeno; se expone la resistencia térmica del sistema AlCrN hasta 1000°C. En [F], los autores indican una mejora de las propiedades mecánicas (tales como dureza y aumento del módulo de Young) y de las características de rozamiento, obtenidas combinando un revestimiento de CrAlN con una superficie de carbono dura. Se reivindica que tales combinaciones podrían tener éxito en aplicaciones de perforación y de fresado. En [G], los autores aluden a revestimientos estratificados de CrAlVN, depositados en forma de capas, obtenidos combinando fuentes metálicas de cromo, aluminio y vanadio, mediante el procedimiento de revestimiento electrolítico iónico. Como resultado, el comportamiento de trabajo a máquina de los revestimientos depositados no alcanzó el nivel obtenido por los revestimientos estándar de TiAlN.

65 SUMARIO DE LA INVENCION

La invención tiene por objeto capas de resistencia de TiCN, TiAlN, AlTiN de bajo desgaste, y revestimientos duros similares, en especial en aplicaciones de corte a alta velocidad en que están implicadas temperaturas elevadas, y en aplicaciones en materiales difíciles de trabajar a máquina (por ejemplo, trabajo a máquina de aceros de herramientas, aceros inoxidables austeníticos y aleaciones de aluminio y titanio). A pesar de los efectos beneficiosos en aplicaciones de temperaturas altas de los revestimientos de CrAlN conocidos, deben encontrarse alternativas que puedan proporcionar un rendimiento aun mejor para ciertas aplicaciones de herramientas, en especial de herramientas o componentes de corte y de conformación, especialmente con componentes utilizados para motores de combustión.

Esto se logra mediante la pieza de trabajo según la reivindicación 1 y el procedimiento según la reivindicación 7.

El rendimiento de revestimientos de CrAlN podría optimizarse mediante la adición de metales de transición tales como niobio, tántalo, molibdeno y/o wolframio. Opcionalmente pueden añadirse metaloides tales como silicio y/o boro para aumentar adicionalmente la dureza y hacer disminuir el desgaste de herramientas y componentes mecánicos que actúan en las condiciones extremas descritas. La nueva familia de revestimientos aumenta la duración de las herramientas y reduce los costos de reemplazo de componentes mecánicos y/o el costoso nuevo afilado de herramientas de corte al influir en el proceso de formación de virutas y, por consiguiente, podría alcanzarse una productividad aumentada debido a las mayores velocidades de corte posibles.

DESCRIPCIÓN BREVE DE LOS DIBUJOS

Figura 1: Croquis de la estructura cristalina de un nitruro de aluminio-cromo-metal de transición

Figura 2: Figuras de difracción de rayos X y parámetros del retículo cristalino de nitruros de aluminio-cromo-metal de transición.

Figura 3: Figuras de difracción de rayos X y coeficiente de textura de nitruros de aluminio-cromo-molibdeno-metal de transición.

Figura 4: Croquis de las microestructuras que pueden conseguirse por nitruros de aluminio-cromo-metal de transición; (a) policristalina, (b) texturada, (c) nanocompuesta.

Figura 5: Medidas de la dureza y de la tensión residual de nitruros de aluminio-cromo-metal de transición.

Figura 6: Perfiles secundarios de la profundidad espectrométrica de la masa iónica: (a) superficie oxidada típica, (b) superficie oxidada de baja calidad, (c) superficie oxidada óptima.

Figura 7: Ensayos de bola-sobre-disco de resistencia al desgaste a alta temperatura, para nitruros de aluminio-cromo-metal de transición.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

Los revestimientos de AlCrN aleados fueron obtenidos usando una máquina industrial Balzers de sistema de revestimiento rápido (RCS). Esta máquina contiene una disposición de descarga de arco de bajo voltaje que permite un calentamiento y un ataque rápidos de los sustratos, lo que favorece altas resistencias de adhesión. El aparato está provisto también de seis dispositivos de deposición que pueden escogerse entre dispositivos de deposición de pulverización por bombardeo iónico, y dispositivos de chorro catódicos de arco y de arco nanodispersados. Durante la deposición, puede aplicarse a las herramientas o componentes que forman el sustrato un voltaje de polarización negativo utilizando un suministro de energía polarizado fijo o por impulsos. La descripción completa y los dibujos del equipo de RCS pueden encontrarse en la solicitud de patente de EE.UU. No. US 2002/0053322.

Para depositar los revestimientos de la invención sobre una diversidad de piezas de trabajo, las piezas de trabajo, previamente limpiadas, fueron montadas según su diámetro, o bien sobre soportes de sustratos de doble rotación o, para diámetros por debajo de 50 mm, sobre soportes de sustratos de triple rotación. Calefactores radiantes instalados en el sistema de revestimiento calentaron las piezas de trabajo a una temperatura de 500°C aproximadamente, con un voltaje de polarización de -100 a -200 V aplicado en una atmósfera de argón, a una presión de 0,2 Pa. Las superficies de las piezas de trabajo fueron sometidas a pulimento por abrasión con iones Ar. El sistema de revestimiento se hace funcionar en una atmósfera de argón de baja presión utilizando por lo menos dos grupos objeto de metales o de aleaciones de metales con la adición, al menos temporal, de al menos un gas reactivo, aplicando en el sustrato un voltaje negativo.

Se define una pieza de trabajo, para los fines de esta invención, como una pieza que tiene un cuerpo de acero, acero rápido, metal duro, carburo cementado o cualquier otro metal o material cerámico adecuado. Un ejemplo de una pieza de trabajo puede ser una herramienta para trabajo a alta temperatura y/o estampación en seco. Son ejemplos de estas herramientas, una herramienta de corte, una broca de perforación, una barrena de ensanchar, una fresa de cremallera, una inserción, una fresa matriz, una muela, una fresa radial, una muela de punta de bola, una herramienta de perfilar, un molde para moldeo a presión, un molde para moldeo por inyección, una herramienta de estampación, una herramienta de embutición profunda o un troquel de forjar. Además de las herramientas, la invención puede aplicarse a componentes, por ejemplo para condiciones de trabajo pesado, de trabajo a altas temperaturas, lubricación insuficiente y/o de funcionamiento sin lubricación. Tales componentes comprenden una leva, un componente del tren de válvulas, una leva de pistón, un brazo de válvula, un brazo oscilante, una espiga, un pasador de pistón, una espiga de un empujador de rodillo, un perno, un componente de un sistema de inyección de

combustible, una aguja de inyección, un engranaje, un piñón diferencial, un pistón tubular, un aro de pistón, etc. Esta lista no es concluyente, otras realizaciones y otras aplicaciones de la invención son posibles y pueden ser definidas por un experto en la técnica.

5 En los experimentos relativos a esta invención, se utilizaron dos de los seis dispositivos de deposición que incluían una capa dúctil de adhesión de TiN, (alrededor de 0,3 μm de grosor). Algunos de los experimentos fueron repetidos usando capas de adhesión diversas tales como Ti, Cr y CrN, obteniéndose un comportamiento similar. Los cuatro dispositivos restantes fueron utilizadas para depositar la capa funcional principal usando grupos objeto de aluminio-cromo-metal de transición sinterizados, personalizados, y el proceso de deposición electrolítica iónica. También, en algunos de los experimentos la capa funcional principal fue depositada conjuntamente combinando un AlCr aleado con un metal de transición y un AlCr que contenía silicio o boro. Durante la deposición, los dispositivos se hicieron funcionar a una potencia de 3,5 kW al tiempo que la presión parcial del nitrógeno gaseoso se mantenía en 3,5 Pa, aproximadamente. Asimismo, se aplicó al sustrato un voltaje de polarización de -100V durante la deposición para intensificar el proceso de bombardeo iónico sobre los sustratos. El tiempo de deposición se ajustó siempre de modo que para todas las diferentes composiciones de revestimiento el grosor de la capa funcional fuera de alrededor de 4 μm . Se prepararon diez composiciones personalizadas en total para los grupos objeto sinterizados. El contenido atómico de aluminio para todos los grupos de todas las composiciones se fijó en 70%. Una composición personalizada estaba compuesta de 30 at. % de Cr, ocho composiciones personalizadas estaban compuestas de 25 at. % de Cr y 5 at. % de Ti, Y, V, Nb, Mo, W, Si Y B, respectivamente, y una composición estaba compuesta por 20 at.% de Cr y 10 at.% de Mo. La composición de los revestimientos estaba correlacionada, proporcionalmente, con el análisis de las composiciones de los grupos objeto utilizados (según se indica en los ejemplos 1 a 4).

La estructura cristalina cúbica deseada de un revestimiento de AlCrN que contiene pequeñas cantidades de elementos de aleación está representada en la figura 1. En un revestimiento de AlCrN puro, la estructura del cristal del tipo de la del NaCl (B1) está compuesta de átomos de nitrógeno aniónico 1, así como también de átomos de aluminio 2, y de cromo 3, que compiten por las posiciones catiónicas disponibles. En teoría, con la adición de pequeñas cantidades de un metal de transición (MT) diferente 4, la estructura del retículo quedaría ligeramente distorsionada debido a la diferencia de tamaño de los átomos y a la electronegatividad. También, la solubilidad en el estado sólido podría quedaría limitada debido a que la mayoría de los metales de transición poseen una capacidad mucho menor que la del cromo para estabilizar la estructura B1 en presencia de cantidades grandes de átomos de aluminio. Otro factor que afecta a la solubilidad de átomos de MT como soluto es la diferencia de los radios atómicos existente entre el MT y el aluminio y el cromo que no debería ser superior al 15% para conseguir un refuerzo real de la solubilización de fase sólida. Sin duda, dependiendo de la naturaleza de los átomos de soluto utilizados en la aleación del metal de transición puede restringirse o no el movimiento de dislocaciones debido al efecto de distorsión del retículo cristalino resultante.

Las figuras de difracción de rayos X y los parámetros del retículo cristalino medidos de una diversidad de revestimientos de AlCr-MT-N, se exponen en la figura 2. Con excepción del AlCrYN, los revestimientos mostraron una estructura B1 clara, similar a la que era de esperar para el AlCrN cúbico. Este hecho recalca la importancia del radio atómico y de la electronegatividad del elemento de aleación, no solo sobre la solubilidad de los átomos del MT como soluto, sino también sobre la estabilidad estructural de la fase de la estructura cristalina en general. Por tanto, las diferencias de los parámetros del retículo cristalino medidos pueden proporcionar realmente una información única acerca de los efectos estructurales del dopado con metales de transición. Los experimentos de difracción de rayos X muestran que, en el caso de AlCrTiN y de AlCrVN, el parámetro del retículo es ligeramente mayor, pero similar al del AlCrN puro. Sin embargo, en el caso de AlCrNbN y de AlCrMoN, el retículo cristalino se ha expandido ligeramente (alrededor de 0,02 Å) al tiempo que ha mantenido la estructura cristalina B1. No obstante, en el caso de AlCrYN, AlCrHfN y AlCrZrN, es de esperar que los metales de transición tengan una solubilidad muy pequeña debido a su tamaño atómico relativamente grande. En este caso, el resultado es una evolución de la microestructura hacia el estado amorfo, como indica la figura 2 para el AlCrYN.

Otro efecto del dopado por el metal de transición en una estructura de tipo B1 de AlCrN puede ser el desarrollo de una textura (200) durante el crecimiento de la película. Esto es lo que ocurrió, por ejemplo, con la figura de difracción de rayos X de AlCrNbN (figura 2) que muestra una orientación preferida (200) en comparación con la estructura más policristalina puesta de manifiesto por el AlCrN puro. En la figura 3 se muestra la razón de difracción QI (definida como la razón de la intensidad de difracción para el plano (200) con respecto a la intensidad de difracción del plano (111)) para el AlCrN y para dos composiciones de AlCrMoN. El aumento del contenido de molibdeno en un AlCrN con una estructura B1, dio por resultado mayores razones QI. La regulación de la textura y de la estructura de una película dura protectora es, tecnológicamente, muy deseable debido a que la forma del campo de tensiones varía significativamente desde una aplicación a la siguiente. Asimismo, a diferencia de la referencia [B], aquí la orientación preferida está regulada principalmente por la estequiometría de los revestimientos. Las disposiciones estructurales principales que pueden conseguirse mediante las composiciones reivindicadas en esta invención, están representadas esquemáticamente en la figura 4. En la figura 4 (a) una película policristalina compuesta de cristallitos 6, orientados aleatoriamente, crece sobre la parte superior de un sustrato de carburo cementado o de acero 5. Una segunda posibilidad es que crezca una película texturada sobre un sustrato 5, siendo la parte de cristallitos orientados en un plano particular 8 varias veces mayor que los desorientados 9. La tercera disposición microestructural posible (figura 4(c)) puede lograrse depositando conjuntamente un metaloide (o bien Si,

o bien B), lo que lleva a la formación de nitruros unidos covalentemente y a la creación de una fase, 12, separada, amorfa o semicristalina, que rodea a los cristalitos, 11, con el aumento adicional de dureza que resulta.

Los ensayos de dureza de las capas duras depositadas fueron llevados a cabo con un instrumento de medida de la microdureza Fischerscope H100, sensible a la profundidad, usando una carga de ensayo de 50 mN. Además, la tensión residual se calculó midiendo la curvatura de sustratos delgados de acero, planos, mediante el ensayo de curvatura de tres puntos, antes y después de la deposición. La gráfica de la figura 5 muestra los valores obtenidos para diversas composiciones de AlCrXN. Los resultados de la figura 5 indican un efecto de refuerzo beneficioso cuando cantidades bajas de Nb, Mo y W son aleadas en AlCrN sin incremento posterior alguno de la tensión residual del revestimiento. Este sorprendente comportamiento mecánico puede explicarse, en parte, por los mecanismos de endurecimiento de las soluciones en estado sólido y por la solubilidad de estos elementos en el AlCrN de estructura B1, observados en los experimentos realizados, como se ha explicado antes.

Otra importante propiedad de los revestimientos en aplicaciones de corte realizado con alta velocidad o alta velocidad de avance así como en el trabajo a máquina de aceros inoxidable austeníticos y de aleaciones de titanio y níquel, es la resistencia de un revestimiento a la oxidación a temperaturas altas y las características de la tercera capa del cuerpo que se forma entre el revestimiento y el material de la pieza de trabajo durante la operación de corte, que puede influir en el proceso de formación de virutas. Para investigar el comportamiento a la oxidación de los revestimientos de AlCrN aleados, se llevaron a cabo experimentos de recocido en aire en circulación durante una hora a 900°C. Estos experimentos fueron seguidos de análisis del perfil secundario de la profundidad espectrométrica de la masa iónica de las capas superficiales oxidadas. La figura 6 (a) ilustra el perfil de la profundidad para un comportamiento típico de oxidación de un revestimiento de AlCrN estándar, con la formación de óxidos tanto de cromo como de aluminio. Este comportamiento típico fue puesto de manifiesto no solo por el revestimiento de AlCrN sin alear, sino también por el revestimiento de AlCrTiN. No obstante, algunos de los revestimientos de AlCrXN aleados tenían tendencia a formar principalmente óxidos de cromo, como puede deducirse de la figura 6 (b). Esto indica un mal comportamiento de resistencia a la oxidación ya que los óxidos de cromo son, en general, más débiles y menos resistentes a la corrosión que los óxidos de aluminio, y por consiguiente, pueden separarse con facilidad durante los procesos de corte y/o de moldeo. Este comportamiento a la oxidación fue observado en revestimientos de AlCrYN y AlCrVN. Por otra parte, los revestimientos de AlCrNbN, AlCrMoN y AlCrWN pusieron de manifiesto un comportamiento a la oxidación más óptimo (indicado en la figura 6 (c)), en que la cantidad de aluminio en la capa exterior oxidada es similar al contenido de aluminio de la parte sin oxidar. Esto indica la formación de óxidos de aluminio pasivos, rígidos, lo que puede ser muy deseable en muchas aplicaciones de corte.

Dado que se entiende que la temperatura de aplicación de los nuevos revestimientos de AlCrXN mejorados ha de ser alta, se estudió la resistencia al desgaste de la capa depositada utilizando un ensayo de bola sobre disco, empleando una contracara de bola de alúmina dura a alta temperatura y midiendo el desgaste sobre el revestimiento después de un número de ciclos previamente determinado. En la figura 7, se indica la velocidad de desgaste de una diversidad de revestimientos de AlCrXN en comparación con TiAlN, AlTiN y AlCrN. Los resultados indican también que el revestimiento de AlCrWN tiene el desgaste más bajo del conjunto, todavía más bajo que el que corresponde al revestimiento de AlCrN puro.

Basándose en los resultados de los ensayos mecánicos recién presentados, el comportamiento de revestimientos a base de AlCr puede mejorarse adicionalmente mediante la aleación de Nb, Mo, W o Ta. En otras palabras, por inclusión de metales de transición de los grupos Vb y Vlb que son más pesados que el cromo. Los mejores resultados pueden conseguirse cuando la concentración atómica de estos elementos está entre el 2 y el 10 por ciento de la parte metálica, sin embargo, podría ser posible una concentración atómica tan baja como 1 por ciento y tan alta como 20 por ciento. La presencia de estos elementos de aleación asegura en último lugar una buena solubilidad, un aumento de la dureza y un comportamiento óptimo a la oxidación a temperatura alta. Esto hace disminuir el desgaste por abrasión, difusión y oxidación a temperaturas altas, de los componentes mecánicos y de las herramientas de corte revestidos. También se obtuvieron resultados similares mediante la adición de pequeñas cantidades de metaloides tales como silicio y/o boro y, por consiguiente, deberían alcanzarse también por carburos, carbonitruros, óxidos de carbono, etc., análogos. Por tanto, la presente invención se refiere a nuevos revestimientos y a las herramientas y componentes correspondientes, cuyos revestimientos poseen la composición global que sigue:



en la que:

X es al menos un elemento entre Nb, Mo, W, Ta;

Z significa N, C, CN, NO, CO, CON;

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

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

$0 \leq c \leq 0,1$

$0 \leq d \leq 0,1$.

Es posible, además, depositar revestimientos en gradiente, por ejemplo, con un contenido de Al creciente hacia la superficie, o bien usando dos tipos de grupos objeto con proporciones diferentes de Al/Cr, o comenzando con una capa de unión de cromo y de Cr y o Cr/N, llevando a cabo un cambio progresivo de la composición de las capas, por ejemplo, mediante un ajuste continuo o por etapas, del grupo correspondiente en una cámara de revestimiento provista de ambos grupos objeto de Cr y de AlCr. El factor más importante para una aplicación industrial de este tipo de revestimientos es la aptitud para ajustar de modo reproducible los parámetros del proceso esencialmente a todo lo largo del progreso del proceso de revestimiento y, por tanto, de todo el grosor de la película. Adicionalmente pueden utilizarse fluctuaciones menores en la composición que ocurren, por ejemplo, en un soporte de sustrato de una sola rotación o de múltiples rotaciones, para producir una nanoestructura sobre parte o sobre la totalidad del grosor de la capa, es decir, para realizar una estratificación en el intervalo de nano- o micrómetros.

Ejemplo 1: Fresado de acero de herramientas – desbaste

Herramienta de corte: Fresa radial de HSS desbastadora, diámetro D = 10 mm,
 Número de dientes, z = 4.
 Pieza de trabajo : Acero de herramientas, X 40 CrMoV 5 1, DIN 1.2344 (36 HRC)
 Parámetros de corte:
 Velocidad de corte, $V_c = 60$ m/min (S = 1592 1/min),
 Velocidad de avance, $f_z = 0,05$ mm/U (f = 318,4 mm/min)
 Profundidad radial de corte, $a_e = 3$ mm
 Profundidad axial de corte, $a_p = 5$ mm
 Enfriamiento: Emulsión, 5%
 Procedimiento: Fresado con avance de la pieza
 Criterio de duración de la herramienta: Cese de la impulsión (relacionado con la anchura de la parte lateral desgastada , VB > 0,3 mm)

Experimento No.	Elem. aleado	Composición química por EDS (at. %)						Metros hasta par torsor max. [m]
		Elem. aleado	Titanio	Aluminio	Cromo	Carbono	Nitrógeno	
1 TiCN*		-	48	-	-	34	18	9,1
2 TiAlN*		-	29	33	-	-	38	5,5
3 AlTiN*		-	23	40	-	-	37	9,0
4 AlCrN*		-	-	43	26	-	31	15,1
5 AlCrYN ^c	Y	5	-	43	21	-	30	12,6
6 AlCrVN ^c	V	4	-	44	22	-	34	13,3
7 AlCrNbN	Nb	5	-	42	21	-	32	18,7
8 AlCrWN	W	4	-	44	22	-	31	18,0
9 AlCrMoN	Mo	4	-	43	22	-	30	19,4

*: denota el estado de los revestimientos de la técnica. ^c: denota ejemplos comparativos

El Ejemplo 1 muestra la duración aumentada de la herramienta en metros de revestimientos a base de AlCrN en comparación con revestimientos de TiCN, TiAlN y AlTiN empleados industrialmente. El AlCrNbN, AlCrWN y AlCrMoN pueden ser muy beneficiosos cuando se aplican a un sustrato de tipo dúctil tal como acero rápido, debido a que proporcionan una superficie de alta dureza y una adherencia adecuada.

Ejemplo 2: Perforación de acero de herramientas

Herramienta de corte: Broca de HSS (S 6-5-2), Diámetro D = 6 mm
 Pieza de trabajo: Acero de herramientas X 210 Cr 12, DIN 1.2080 (230HB)
 Parámetros de corte:
 Velocidad de corte, $V_c = 35$ m/min
 Velocidad de avance, $f = 0,12$ mm
 Profundidad del orificio perforado, z = 15 mm, orificio ciego
 Enfriamiento : Emulsión, 5%
 Criterio de duración de la herramienta: Cese de la impulsión (relacionado con la anchura del desgaste del borde, VBc > 0,3 mm)

Experimento No.	Elem. aleado 1	Elem. aleado 2	Composición química por EDS (at. %)							Duración del desgaste (orificios/ μm de grosor del revestimiento)
			Elem. aleado	Elem. aleado	Ti	Al	Cr	C	N	
			1	2						
10 TiCN*	-	-	-	-	48	-	-	34	18	50
11 TiAlN*	-	-	-	-	29	33	-	-	38	64
12 AlTiN*	-	-	-	-	23	40	-	-	37	73
13 AlCrN*	-	-	-	-	-	43	26	-	31	92
14 AlCrYN ^c	Y	-	5	-	-	43	21	-	30	72
15 AlCrVN ^c	V	-	4	-	-	44	22	-	30	84
16 AlCrNbN	Nb	-	5	-	-	42	21	-	32	110
17 AlCrWN	W	-	4	-	-	44	22	-	31	102
18 AlCrMoN	Mo	-	4	-	-	43	22	-	30	109
19 AlCrNbBN	Nb	B	2	3	-	43	20	-	32	107
20 AlCrMoBN	Mo	B	2	3	-	42	21	-	32	114
21 AlCrMoSiN	Mo	Si	3	3	-	42	22	-	30	116

*: denota el estado de los revestimientos de la técnica. ^c: denota ejemplos comparativos

- 5 El Ejemplo 2 muestra la comparación de varios revestimientos de AlCrXN en brocas revestidas de HSS. El criterio fundamental de la duración de la herramienta es el número normalizado de orificios perforados sobre el grosor de los revestimientos hasta alcanzar un cese de impulsión máximo. El mejor coeficiente de comportamiento fue puesto de manifiesto por revestimientos a base de AlCr aleados con Nb, W y Mo.
- 10 **Ejemplo 3:** Fresado de acero hipoaleado – semiacabado
 Herramienta de corte: Fresa radial (carburo), diámetro D = 8 mm,
 Número de dientes, z = 3
 Pieza de trabajo : acero al carbono, Ck45, DIN 1.1191
 Parámetros de corte:
- 15 Velocidad de corte, $V_c = 400$ m/min
 Velocidad de avance, $V_f = 4776$ mm/min
 Profundidad radial de corte: $a_e = 0,5$ mm
 Profundidad axial de corte: $a_p = 10$ mm
- 20 Enfriamiento: Emulsión , 5%
 Procedimiento: fresado con avance de la pieza
 Criterio de duración de la herramienta: anchura de la parte lateral desgastada, VB = 0,12 mm.

Experimento No.	Elem. aleado 1	Elem. aleado 2	Composición química por EDS (at. %)							Desgaste lateral después de 150m (mm)
			Elem. aleado	Elem. aleado	Ti	Al	Cr	C	N	
			1	2						
22 TiCN*	-	-	-	-	48	-	-	34	18	0,140
23 TiAlN*	-	-	-	-	29	33	-	-	38	0,110
24 AlTiN*	-	-	-	-	23	40	-	-	37	0.130
25 AlCrN*	-	-	-	-	-	43	26	-	31	0,050
26 AlCrYN ^c	Y	-	5	-	-	43	21	-	30	0.100
27 AlCrNbN	Nb	-	5	-	-	42	21	-	32	0.050
28 AlCrWN	W	-	4	-	-	43	22	-	30	0.060
29 AlCrMoN	Mo	-	4	-	-	43	20	-	32	0.065
30 AlCrWBN	W	B	2	3	-	42	21	-	32	0.030
31 AlCrNbSiN	Nb	Si	2	3	-	42	22	-	30	0.050

*: denota el estado de los revestimientos de la técnica. ^c: denota ejemplos comparativos

- 25 El Ejemplo 3 pone de manifiesto una comparación de la duración de fresas radiales revestidas con carburo cementado durante el acabado de acero al carbono sin alear. Si bien los sistemas estratificados estándar utilizados industrialmente, tales como los revestimientos de TiCN, TiAlN y AlTiN muestran un alto desgaste lateral después de una duración de la herramienta de $l_f = 150$ m, las herramientas revestidas con combinaciones de revestimientos basados en la fórmula $\text{Al}_{1-a-b-c-d} \text{Cr}_a \text{X}_b \text{Si}_c \text{Z}$ pusieron de manifiesto un desgaste significativamente inferior. Estos resultados indican que los revestimientos de fórmula $\text{Al}_{1-a-b-c-d} \text{Cr}_a \text{X}_b \text{Si}_c \text{Z}$ pueden resistir adecuadamente los altos impactos térmicos inducidos en procesos de trabajo a máquina de alta velocidad.
- 30

Ejemplo 4: Fresado de acero inoxidable austenítico - desbaste

Herramienta de corte: fresa radial (carburo) Diámetro $D = 10$ mm.
Número de dientes $z = 4$

5 Pieza de trabajo: acero inoxidable austenítico X 6 CrNiMoTi 17 12 2m DIN 1.4571

Parámetros de corte:

Velocidad de corte $v_c = 67$ m/min

Velocidad de avance $f_r = 0,033$ mm

10 Profundidad radial de corte $a_e = 6$ mm

Profundidad axial de corte $a_p = 9$ mm

Enfriamiento : Emulsión, 5%

Proceso : Fresado con avance de la pieza

15 Criterio de duración de la herramienta: anchura de la parte lateral desgastada, $VB = 0,2$ mm.

Experimento No.	Elem. aleado	Composición química por EDS (at. %)						Metros hasta fallo
		Elem. aleado	Titanio	Aluminio	Cromo	Carbono	Nitrógeno	
32 TiCN*	-	-	48	-	-	34	18	22
33 TiAlN*	-	-	29	33	-	-	38	15,5
34 AlTiN*	-	-	23	40	-	-	37	31
35 AlCrN*	-	-	-	43	26	-	31	21
36 AlCrNbN	Nb	5	-	42	21	-	32	43,5
37 AlCrMoN	Mo	4	-	43	22	-	30	39,5
38 AlCrWN	W	4	-	44	22	-	31	43,0

* : denota el estado de los revestimientos de la técnica.

20 El Ejemplo 4 muestra la comparación de la duración de la herramienta de fresas radiales revestidas con carburo cementado contra acero inoxidable para cuatro sistemas estratificados duros utilizados industrialmente. El trabajo a máquina del acero inoxidable es un proceso muy difícil debido a la elevada rigidez de este material, a endurecer el trabajo y adherirse a la herramienta. Los mejores resultados respecto a la duración de la herramienta se alcanzaron utilizando revestimientos de AlCrNbN, AlCrMoN y AlCrWN. Esta duración aumentada de la herramienta podría estar relacionada con un aumento de la dureza a altas temperaturas y el buen comportamiento a la oxidación manifestado con el uso de sistemas de AlCrN aleados con Nb, Mo y W, con el aumento consiguiente de la resistencia al desgaste.

25

REIVINDICACIONES

- 5 1.- Una pieza de trabajo que tiene una superficie en la que por lo menos partes de dicha superficie están revestidas con un revestimiento duro resistente al desgaste, que comprende un revestimiento de la composición siguiente:

$$Al_{1-a-b-c-d} Cr_a X_b Si_c B_d Z,$$
en donde
X es al menos un elemento entre Nb, Mo, W o Ta;
Z es un elemento o un compuesto entre N, C, CN, NO, CO, CON;
y $0,2 \leq a \leq 0,5$;
 $0,01 \leq b \leq 0,2$;
 $0 \leq c \leq 0,1$;
 $0 \leq d \leq 0,1$
- 10 donde, si el revestimiento duro resistente al desgaste es un revestimiento del grupo: $Al_{0,62}Cr_{0,31}Nb_{0,07}N$, $Al_{0,65}Cr_{0,26}W_{0,09}N$, $Al_{0,62}Cr_{0,31}Mo_{0,07}N$, la pieza de trabajo no es una pieza de trabajo del grupo: mordaza forjada, broca de movimiento suave HM, punzón de ranurar.
- 15 2.- Una pieza de trabajo según la reivindicación 1, que posee un cuerpo hecho de acero, acero rápido, metal duro, carburo cementado. o cualquier otro metal o material cerámico.
- 20 3.- Una pieza de trabajo según la reivindicación 1, en que la pieza de trabajo es una herramienta para operación a alta temperatura y/o para trabajo a máquina sin lubricación.
- 25 4.- Una pieza de trabajo según la reivindicación 1, en que la pieza de trabajo es una herramienta, una herramienta de corte, una broca, una barrena de ensanchar, una fresa de cremallera, una pieza de inserción, una fresa matriz, una fresa, una muela, una fresa radial, una muela de punta de bola, una herramienta de perfilar, un molde para moldeo a presión, un molde para moldeo por inyección, una herramienta de estampación, una herramienta de embutición profunda o un troquel de forjar.
- 30 5.- Una pieza de trabajo según la reivindicación 1, en que la pieza de trabajo es un componente para condiciones de funcionamiento de trabajo pesado, alta temperatura, lubricación insuficiente y/o sin lubricación.
- 35 6.- Una pieza de trabajo según la reivindicación 1, en la que la pieza de trabajo es un componente, una leva, un componente del tren de válvulas, una leva de pistón, un brazo de válvula, un brazo oscilante, una espiga, un pasador de pistón, una espiga de empujador de rodillo, un perno, un componente de un sistema de inyección de combustible, una aguja de inyección, un engranaje, un piñón diferencial, un pistón tubular o un aro de pistón.
- 40 7.- Proceso PVD para depositar por lo menos una película de $Al_{1-a-b-c-d} Cr_a X_b Si_c B_d Z$ sobre una pieza de trabajo, en que X es al menos un elemento entre Nb, Mo, W o Ta; Z es un elemento o un compuesto entre N, C, CN, NO, CO, CON; y $0,2 \leq a \leq 0,5$; $0,01 \leq b \leq 0,2$; $0 \leq x \leq 0,1$; $0 \leq d \leq 0,1$, en el que al menos una pieza de trabajo está instalada en un sistema de revestimiento en vacío y dicho sistema se hace operar en una atmósfera de argón de baja presión utilizando, por lo menos, dos grupos objeto de metales o de aleaciones metálicas, con la adición, al menos temporal, de un gas reactivo, por lo menos, aplicando al sustrato un voltaje negativo.
- 45 8.- Proceso PVD según la reivindicación 7, en el que el gas reactivo es nitrógeno a una presión parcial de 3,5 Pa aproximadamente.
- 9.- Proceso PVD según la reivindicación 7 ú 8, en el que el voltaje del sustrato es -100 V.
- 50 10.- Proceso PVD según las reivindicaciones 7-9, en el que los, por lo menos dos grupos objeto comprenden Al y Cr.

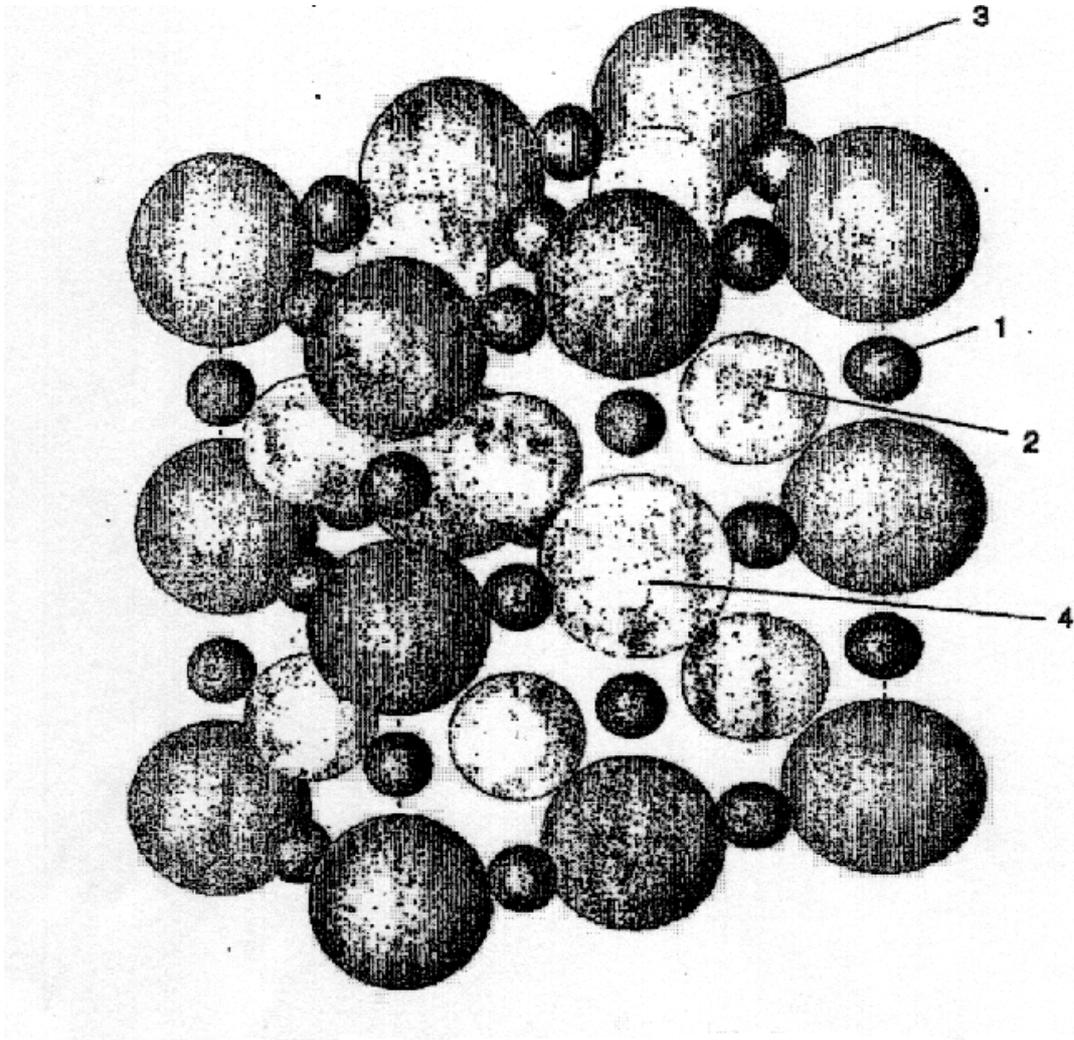


Fig. 1

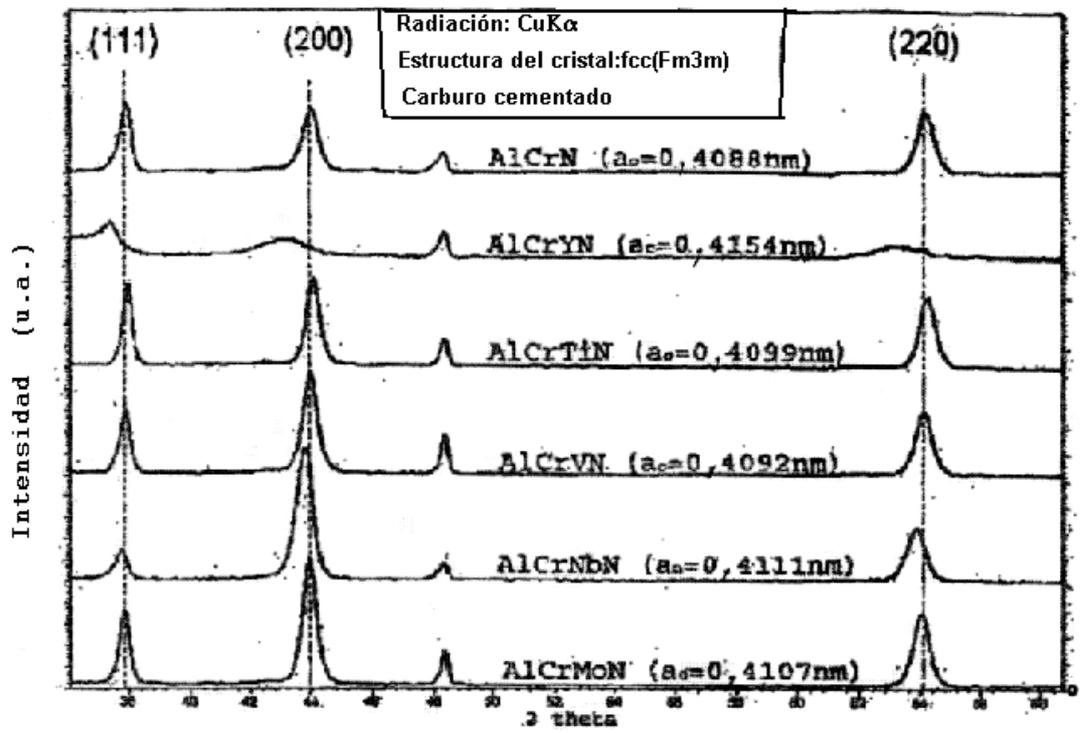


Fig. 2

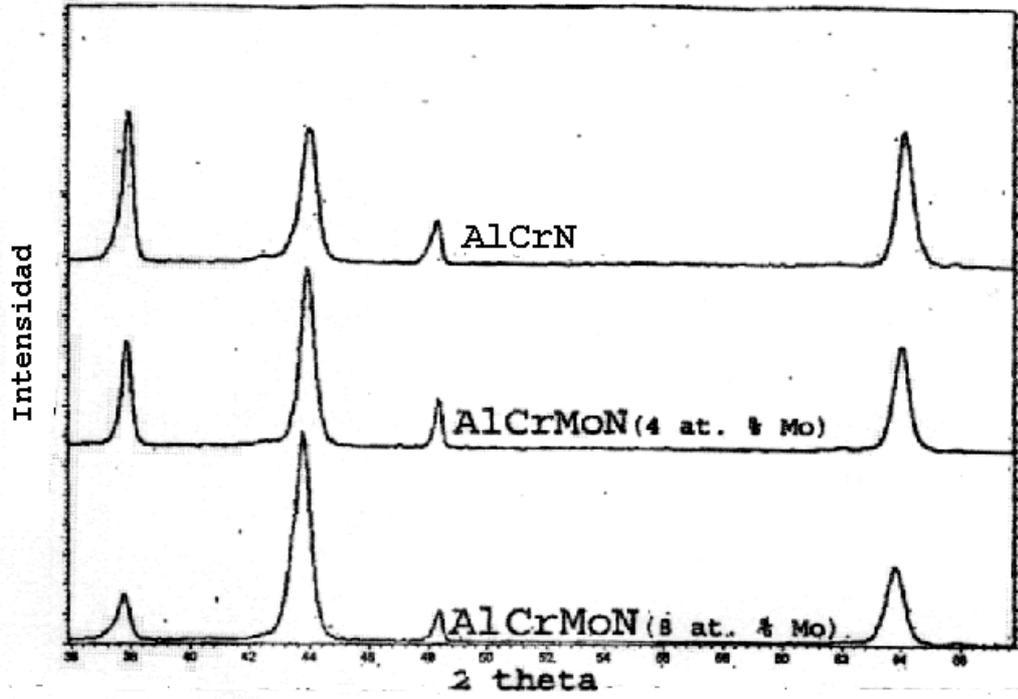


Fig. 3

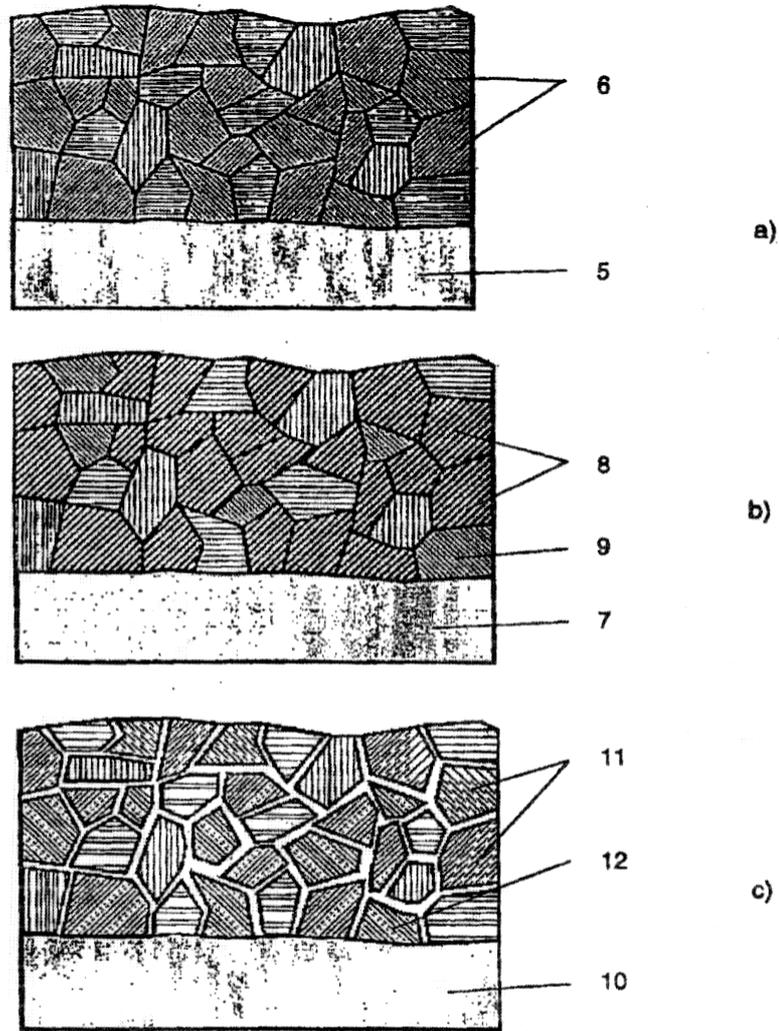


Fig. 4

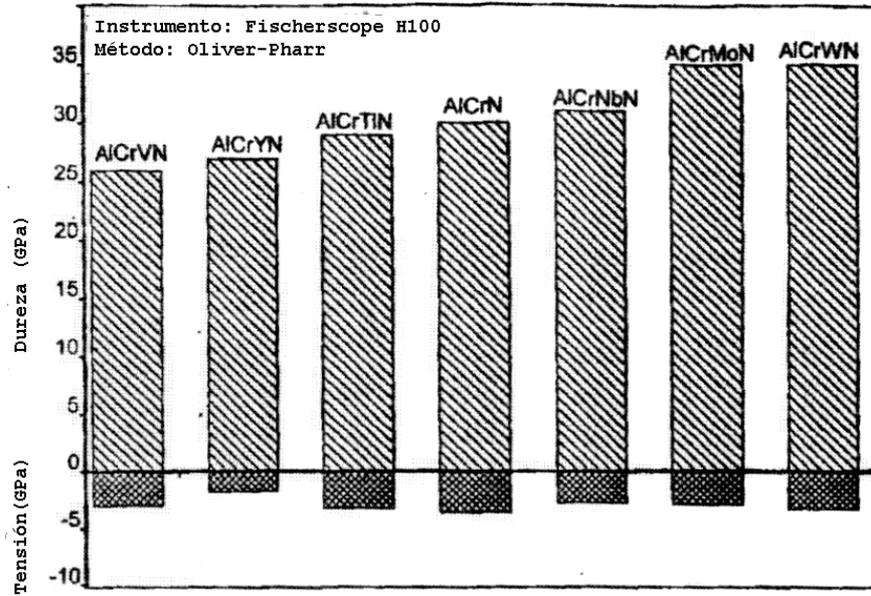
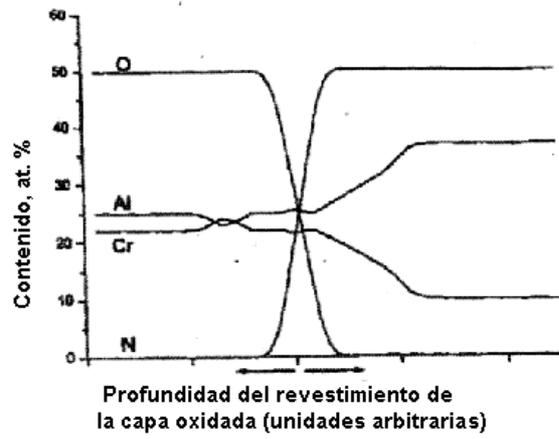
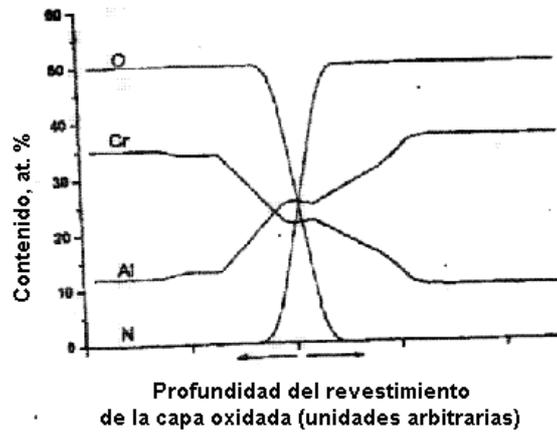


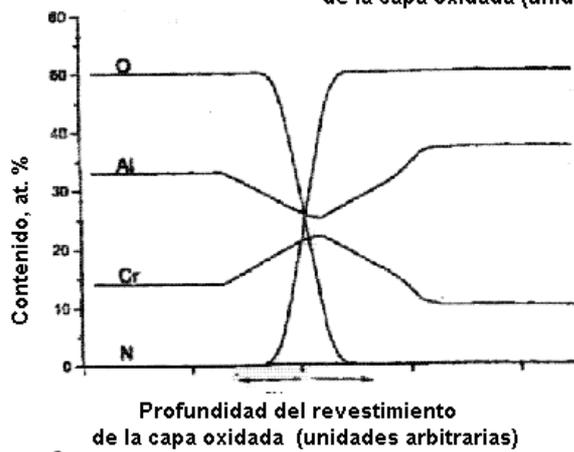
Fig. 5



(a)



(b)



(c)

Fig. 6

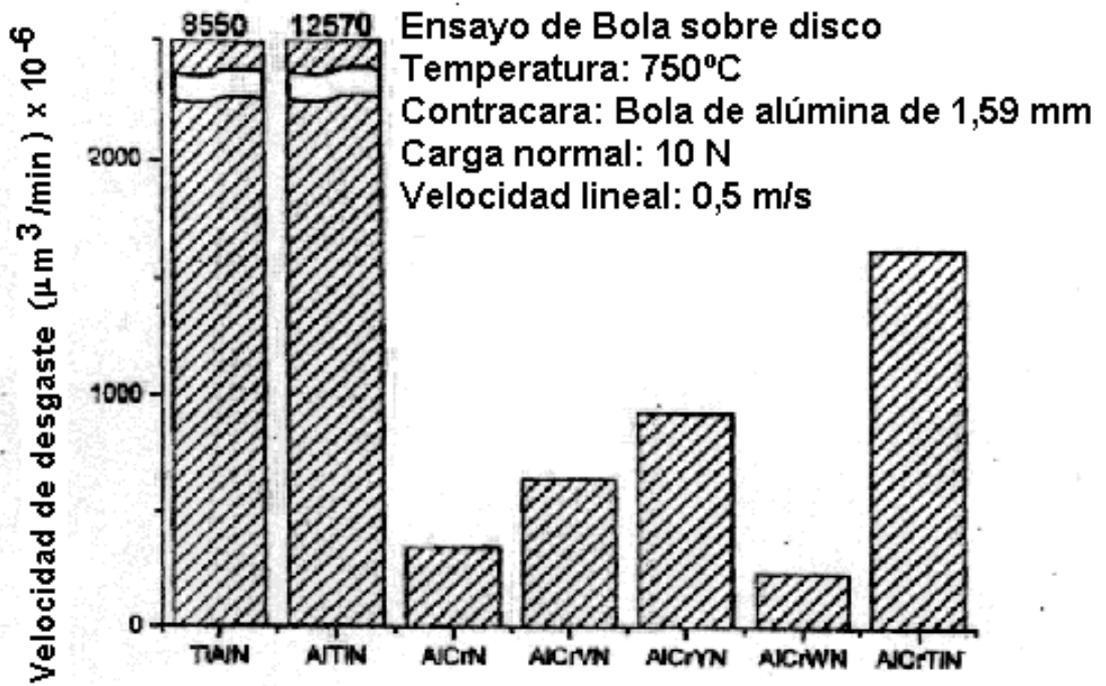


Fig. 7.