

PROPIEDADES MECÁNICAS Y TRIBOLÓGICAS DE RECUBRIMIENTOS DUROS: Uso de la técnica de nanoindentación

F. Sequeda Osorio, PhD.¹; J.A. Trujillo¹; M. Benavides² y G. Bejarano²

1. UNIVERSIDAD DEL VALLE - Centro de Investigación de Materiales CIM, Grupo de Recubrimientos Duros y Aplicaciones Industriales

2. Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria - CDT ASTIN, SENA - Regional Valle Santiago de Cali - Colombia.

INTRODUCCIÓN

En un mundo cada vez más globalizado, el incremento en la competitividad en el sector manufacturero, se hace evidente en la medida que cada día existen condiciones más estrictas y necesidades más difíciles de satisfacer, debido a la demanda de altas tecnologías relacionadas con la producción; muestra de esto es la importancia que representa el producir de una manera eficiente, económica y ambientalmente compatible.

El uso de nuevas tecnologías en el sector industrial ha demostrado ser una herramienta básica para el desarrollo de nuevos productos con mejor calidad y desempeño. El impacto principal de esto, radica en el aumento sustancial de la calidad de los productos y en la mayoría de los casos, un incremento productivo.

Cuando se trata de producción industrial, existe una serie de elementos que no son ajenos al cambio y que por el contrario

sustentan la evolución industrial, es el caso de los materiales y sus procesos productivos. La relación fuerte que existe entre los materiales y su proceso de producción, más aún en la industria moderna, implica un viraje de 180 grados en la forma de concebirlos y de utilizarlos, como por ejemplo, en desarrollos a medida surgidos de necesidades específicas en la industria moderna, es el caso de las herramientas industriales, las cuales son sometidas permanentemente hasta sus límites y por esto se hace necesario encontrar alternativas de mejoramiento a su desempeño y vida útil, ya sea mediante reemplazos en su diseño, o fabricarlas con materiales y procesos novedosos que sean coherentes con estas nuevas necesidades.

Bajo este contexto y como una alternativa de solución a algunos aspectos relacionados con la vida útil y el desempeño de herramientas industriales, surge la ingeniería de superficies, más específicamente los tratamientos

tales como los Recubrimientos Duros utilizando técnicas como PVD, CVD, entre otras, que ofrecen la alternativa de cumplir en gran medida los requerimientos, tanto técnicos como económicos, suscitados por dichas herramientas.

Cuando se trabaja con herramientas industriales, es importante determinar cómo se comportan frente a las sollicitaciones que viven durante su desempeño, es más, conocer su respuesta a éstas, de tal manera que pueda predecirse de alguna forma su comportamiento en servicio. Las propiedades mecánicas y tribológicas definen en gran medida la respuesta de la herramienta a tales efectos.

Desde el punto de vista mecánico y tribológico, un recubrimiento duro debe poseer ciertas características que lo hagan idóneo para la aplicación buscada. En especial, para el caso de herramientas industriales, una alta dureza, una elevada resistencia al

desgaste y un coeficiente de fricción bajo, son por lo general deseables.

El propósito de este trabajo consiste en la fabricación y la caracterización mecánica y tribológica de recubrimientos duros (CrN, ZrN, AlTiN), depositados sobre acero HSS utilizando la técnica PVD - Evaporación por Arco. Para la caracterización mecánica y tribológica, se utilizó la técnica de Nanoindentación.

TÉCNICA DE NANOINDENTACIÓN

Como los recubrimientos duros fabricados poseen espesores de unas pocas micras, se hace necesario utilizar una técnica refinada que alcance una precisión y confiabilidad en las medidas que sobrepase las técnicas convencionales comúnmente usadas. Es así como se hace importante la técnica de nanoindentación, la cual ofrece precisión y confiabilidad a escala nanométrica.

La Nanoindentación es una técnica utilizada en la actualidad como alternativa para la medición de las propiedades mecánicas y tribológicas en películas delgadas, ésta brinda una mayor precisión debido a que permite hacer mediciones a escala nanométrica utilizando unos pocos mN de carga, a diferencia de los métodos convencionales los cuales utilizan cargas de gramos y desplazamientos de décimas de milímetro, lo cual es demasiado elevado dado los espesores de micras que poseen los recubrimientos a estudiar.

Es importante aclarar que esta técnica presenta algunas dificultades en su aplicación, debido en gran medida al efecto permanente de las propiedades del sustrato sobre las mediciones. No obstante, existen una serie de recomendaciones importantes que se deben seguir para evitar esos posibles errores en las mediciones.

Las propiedades con mayor frecuencia medidas usando la técnica de nanoindentación son el módulo elástico E y la dureza H, aunque es posible también determinar otros valores tales como la adhesión, la resistencia al creep, esfuerzos residuales, tenacidad de fractura, fatiga, etc. Desde el punto de vista tribológico se pueden obtener valores para el coeficiente de fricción, resistencia al desgaste, etc.

La técnica de Nanoindentación consiste en hacer penetrar un indentador de material (por lo general diamante) y geometría conocida (Piramidales, Esféricos, Cubos, Cónicos) y medir en tiempo real y simultáneamente la carga que se está aplicando (del

orden de 1µN a 10mN) y la profundidad de penetración que alcanza el indentador (del orden de 1nm a 5µm) [1].

Cuando el indentador penetra en la película, ocurre tanto una deformación elástica como plástica, produciendo una huella en la película que está relacionada con la forma del indentador y de la cual pueden derivarse conceptos útiles para la interpretación de los resultados.

El proceso se realiza en dos etapas:

1. Proceso de carga: el indentador es programado para que alcance un valor máximo de carga P (partiendo de una carga $P_{inicial}$ igual a 0, desde el punto de contacto con la superficie inicial), hasta una carga máxima, P_{max} , lo cual ocasiona un desplazamiento h de la punta del indentador hasta un h_{max} . Existe un efecto relacionado con este proceso y es la deformación elástica de la superficie en el perímetro del área de contacto denotado como h_s . Por otra parte, algo importante a considerar es la profundidad, h_c ,

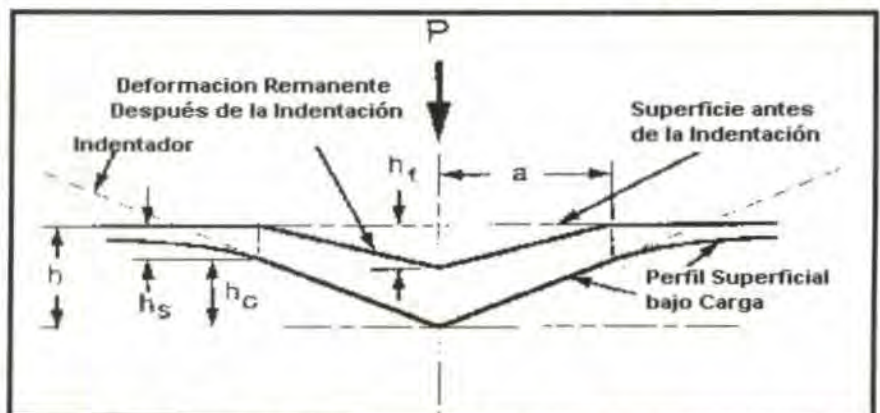


Figura 1. Proceso físico involucrado en una indentación y las cantidades usadas en el análisis

llamada profundidad de contacto, la cual representa la porción medida desde el nivel del perímetro del área de contacto y la profundidad máxima alcanzada por la punta del indentador a P_{max} . Por tanto, la medida total de la penetración durante el proceso de indentación está dada por la siguiente relación $h = h_c + h_s$.

2. Proceso de descarga: Al llegar al valor máximo de carga P_{max} , el movimiento es revertido y el indentador es retirado (midiendo de nuevo en tiempo real y simultáneamente la profundidad de indentación y la carga aplicada), quedando sólo la deformación plástica generada por el indentador, es decir la profundidad residual h_r .

Posteriormente, con los datos obtenidos en los procesos de carga y descarga, se grafica una curva Carga (P) vs. Desplazamiento (h), de donde se podrá determinar la profundidad h_c que será usada de acuerdo con la función de forma del indentador para establecer el área proyectada de contacto A en P_{max} . También pueden hallarse los valores asociados a esta curva como por ejemplo, la rigidez S, los valores de P_{max} , h_{max} , etc.

Las relaciones fundamentales de la dureza H y el módulo elástico E están dadas por:

$$H = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde P es la carga máxima y A es el área de contacto y,



Figura 2. Representación esquemática de la información disponible en una curva Carga vs. Desplazamiento en un proceso de indentación

$$E_r = \frac{\sqrt{\pi}}{2\beta} \frac{S}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Donde E_r es el módulo elástico reducido, β una constante que depende de la geometría del indentador [2,3] y S es la rigidez de contacto definida como la pendiente $S = dP/dh$ de la porción inicial de la curva de descarga en la gráfica P vs. h.

El módulo reducido utilizado en la ecuación 2, corresponde al efecto de la deformación elástica del indentador y del recubrimiento estudiado. El módulo elástico E del material se calcula de la siguiente relación:

$$\frac{1}{E_r} = \frac{1 - \nu^2}{E} + \frac{1 - \nu_i^2}{E_i} \quad (3)$$

Donde ν es el módulo de Poisson de la película y E_i y ν_i son el módulo elástico y el de Poisson del indentador respectivamente.

A continuación se debe calcular el área A de contacto, en función de h_c , para esto se utilizará el Método de Oliver y Pharr [3], el cual hace uso de la relación (Válida sólo para indentadores piramidales con la geometría correspondiente al indentador Vickers y al indentador Berkovich, los cuales tienen un área de contacto equivalente) [4]:

$$A = 24.5h_c^2 \quad (4)$$

Calculamos h_c y A, y estos valores pueden ser usados para obtener valores tanto para E como para H.

La profundidad de contacto h_c está determinada por la relación:

$$h_c = h_{max} - \epsilon \frac{P_{max}}{S} \quad (5)$$

De donde el valor ϵ es una constante que depende de la geometría del indentador y que tiene un valor de 0.75 para el indentador Berkovich aquí utilizado [3].

Otra prueba que es posible realizar es la de rayado (Scratch) consistente en hacer pasar un indentador (el material y la geometría deben ser conocidos) por encima del recubrimiento, utilizando una carga normal, fija o variable, durante toda la raya, hasta que la capa sufra alguna falla [5]. La carga a la cual ocurre dicha falla es llamada carga crítica [6] y es utilizada como una medida de la adhesión del recubrimiento al sustrato. Durante este ensayo es posible registrar in - situ la fuerza tangencial que experimenta la punta del indentador, la cual está relacionada con la fricción entre esta punta y el recubrimiento. También es posible registrar la penetración de la punta de diamante y la carga normal en cada instante del ensayo. Estos datos deben ser contrastados con la observación al microscopio (óptico, SEM, AFM, etc.) de la raya residual, esto para obtener información que corrobore los valores de carga obtenidos y determinar los mecanismos de falla.

La prueba de Nanodesgaste está relacionada con las características de resistencia al desgaste de la superficie y consiste en hacer oscilar una punta de diamante a una frecuencia determinada y a lo largo de una longitud conocida, de tal forma que describa un área fijada con antelación. La cantidad de material erosionado en un

ION BOND®	
Ciclo de Acondicionamiento	5 Minutos X ion Bombardeo en Vacío
Número de Evaporadores	4
Voltaje Bias	- 1000 V
Ciclo de Recubrimiento	Tiempo/15 m Torr Presión de N₂
Número de Evaporadores	4
Voltaje Bias	- 100 V
Temperatura de Deposición	480 - 540 °C
Espesor del Recubrimiento	2 - 5 micras

Tabla 1. Parámetros de proceso utilizado para fabricar los recubrimientos estudiados

tiempo dado es la rata de desgaste [7], es decir qué tanto material se pierde bajo una carga conocida en unidad de tiempo.

Procedimiento experimental

Para la realización de este trabajo se recubrieron varias muestras mediante la técnica de Deposición por Arco (Cathodic Arc Evaporation), utilizando los parámetros descritos en la tabla 1.

La caracterización mecánica y tribológica se realizó con un equipo Hysitron TriboScope® en la compañía Hysitron Inc. Minneapolis - USA. Este es un equipo de alta resolución que permite medir la dureza, módulo elástico (nanoindentación) y además permite pruebas de desgaste y coeficiente de fricción, adhesión, etc. Esta técnica permite obtener por cada indentación valores de dureza y módulo elástico en función de la profundidad de la indentación [1,3,4].

Diez procesos de indentación fueron hechos sobre cada muestra, tanto sobre el sustrato como sobre cada una de las muestras recubiertas (AlTiN, ZrN, CrN). Se estableció la profundidad máxima de Indentación en 2 μ , y se utilizó un indentador tipo Berkovich [3]. Los procesos de carga y descarga fueron llevados a cabo mediante un perfil trapezoidal donde se cargó en 10 segundos, se hizo un sostenimiento a carga máxima por 3 segundos y posteriormente se descargó en 10 segundos. La carga utilizada fue de 10.000 μ N. Las indentaciones fueron separadas entre sí por 50 μ .

Sobre cada una de las muestras se llevó a cabo la prueba de Rayado (Scratch), donde se aplicó una carga máxima de 2.000 μ N. El desplazamiento normal, la carga normal, el desplazamiento lateral y la fuerza lateral fueron medidos simultáneamente. El coeficiente de fricción fue calculado de la relación entre la fuerza lateral y la fuerza normal.

MATERIAL	Espesor (μm)	Dureza (GPa)	Módulo Reducido (GPa)	Coefic. de Fricción	Desgaste (nm^3)
Substrato	-----	10.55	230.59	0.40	3.41
AlTiN	5.0	26.65	366.86	0.31	3.15
ZrN	3.2	27.33	339.79	0.29	2.26
CrN	2.0	25.23	353.46	0.55	-----

Tabla 2. Valores obtenidos en la caracterización mecánica y tribológica de los recubrimientos estudiados

La prueba fue repetida cinco veces para cada muestra.

La prueba de desgaste también se realizó sobre cada pieza bajo los siguientes parámetros: Tamaño de barrido de $1\mu\text{m}$, velocidad de barrido 2 Hz, y una carga aplicada de $100\mu\text{N}$. Durante este proceso el material es desgastado por la punta del indentador Berkovich. El área desgastada, es tomada en un barrido de 3μ , para así determinar la cantidad de material perdido durante la prueba. Las pruebas se repitieron cinco veces sobre cada muestra.

DISCUSIÓN Y RESULTADOS

Por lo general, el desempeño de los recubrimientos depende de su composición, microestructura y propiedades mecánicas, tanto del sustrato como del recubrimiento, más bien a un efecto combinado de ambos [11,12,13].

La medición de la dureza y el módulo elástico en películas delgadas es muy complicado, debido a que son una combinación de las propiedades intrínsecas (densidad de dislocaciones,

estructura cristalina, espesor de la película, etc.) y extrínsecas (dureza del sustrato, adhesión recubrimiento / sustrato, etc.), además, como estos factores interactúan entre sí, esto hace que sea más difícil su caracterización [14].

Como las propiedades del sustrato pueden afectar las mediciones, se recomienda realizar las indentaciones inferiores a un 30% del espesor del recubrimiento [15,16,17].

Los valores de dureza y módulo elástico reducido varían entre 25 y 27 GPa y entre 340 y 367 GPa respectivamente.

Observando las gráficas de Dureza vs. Profundidad de Contacto, generadas para cada recubrimiento, y comparando los valores obtenidos frente a los del sustrato se puede apreciar que en todos los casos, se tienen unos valores superiores al que presenta el sustrato de acero. Una tendencia adicional fue que en la medida en que aumenta la profundidad de contacto (indentación) existe un marcado

efecto de las propiedades del sustrato sobre la dureza de los recubrimientos [4,18,19].

Los valores de dureza obtenidos son similares entre sí, el recubrimiento de ZrN presentó la mayor dureza con 27,33 GPa, lo cual es un reflejo de su microestructura relacionada con la morfología uniforme que presenta este recubrimiento. El AlTiN presentó una dureza intermedia entre el ZrN y el CrN con un valor de 26.65 GPa, mientras que el CrN tuvo la menor dureza con 25.23 GPa. Tanto el AlTiN como el CrN, presentaron mayor presencia de macropartículas en su microestructura que el ZrN.

En la figura 3 se muestran las curvas de dureza vs. profundidad de indentación generadas para cada uno de los recubrimientos estudiados.

Para las gráficas Módulo Reducido vs. Profundidad de Contacto existe una tendencia igual que en las de dureza, aunque no tan acentuada. Como el módulo elástico también es afectado por las propiedades del sustrato, como puede verse

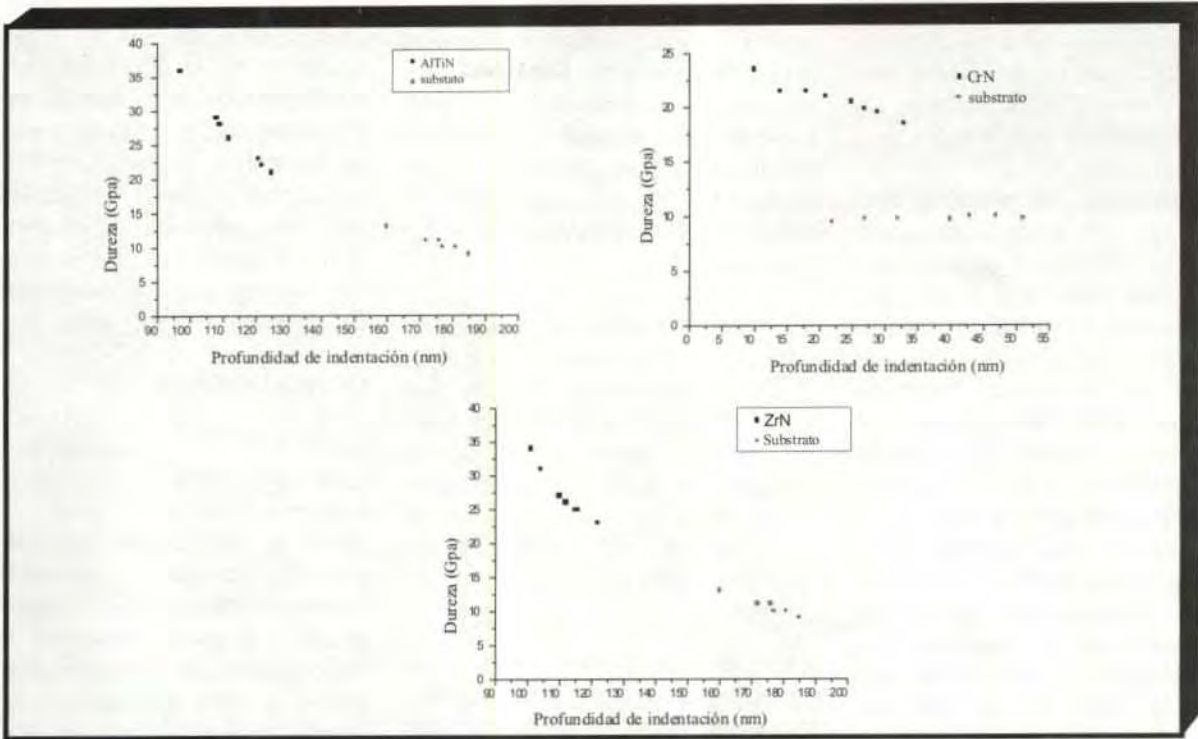


Figura 3. Curvas comparativas de dureza en función de la profundidad de indentación para cada recubrimiento

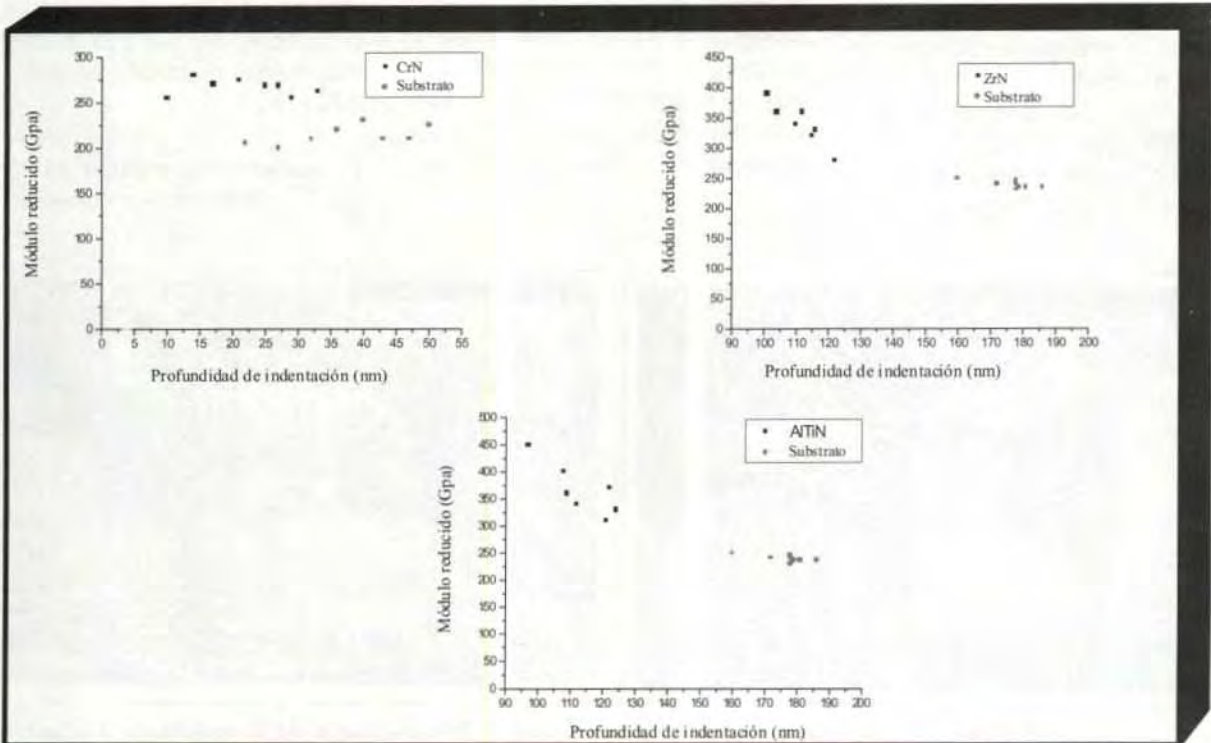


Figura 4. Curvas comparativas de módulo reducido en función de la profundidad de indentación para cada recubrimiento

en las gráficas, donde se observa un decrecimiento del valor del módulo con relación al aumento de la profundidad de Indentación.

Adicionalmente, el módulo está relacionado con la microestructura del recubrimiento, en especial por el tipo de enlaces entre sus componentes, es pues de esperar que para los enlaces de los nitruros se presenten módulos elevados. Esto se constata al encontrar un módulo reducido de 366.86 GPa en el AlTiN, mientras que el ZrN tuvo uno de 339.79 y el CrN uno de 353.46. Algo para destacar en las gráficas de módulo reducido contra profundidad de Indentación es lo disperso de los datos obtenidos, lo cual es clara evidencia del efecto de las micropartículas presentes en ellos ocasionadas por la técnica de deposición.

Mediante la prueba de Scratch se obtuvo el coeficiente de fricción (indentador de diamante tipo Berkovich sobre cada recubrimiento) como la relación entre la carga lateral y la carga normal.

Todos los recubrimientos presentaron un bajo coeficiente de fricción, en especial el ZrN con un valor de 0.29, seguido en ascenso por el AlTiN y el CrN con valores de 0.31 y 0.55 respectivamente, la muestra de referencia tiene un valor de 0.40.

También se realizaron pruebas de desgaste, las cuales arrojaron que el ZrN pierde menos material que el AlTiN y el CrN, con unos valores determinados de pérdida de material de 2.26 nm³, 3.15 nm³. Algunas de las imágenes AFM de las huellas de desgaste se presentan más adelante.

Es de esperar que un recubrimiento con alta dureza, moderado módulo elástico y bajo coeficiente de fricción sea el apropiado en aplicaciones tribológicas, sin embargo, hay que aclarar que existen otra serie de parámetros que juegan un papel muy importante en este desempeño [12,13,20], los cuales presentan oposición a esta teoría.

Las imágenes AFM que se muestran en las figuras 5 - 6 y 7, corresponden a la huella dejada por la erosión del material después de la prueba de desgaste. Nótese la regularidad de la misma, lo cual permite, apoyados en el perfil de profundidades, calcular el volumen de material que fue desgastado y así determinar dicho valor.

CONCLUSIONES

Todos los recubrimientos estudiados presentaron un comportamiento similar, sin embargo, el recubrimiento de ZrN presentó las mejores propiedades nanomecánicas. Su morfología presentó la menor influencia de las macropartículas procedentes del proceso de deposición y su composición elemental es favorable. Tanto el AlTiN como el CrN se vieron afectados por la inclusión de macropartículas en su superficie, en tamaño y cantidad mayores que las del recubrimiento ZrN.

El desempeño y optimización de las propiedades nanomecánicas

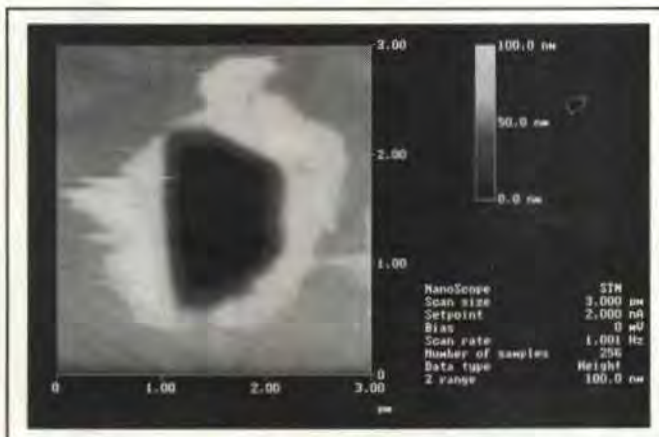


Figura 5. Imagen AFM de la huella de desgaste del acero

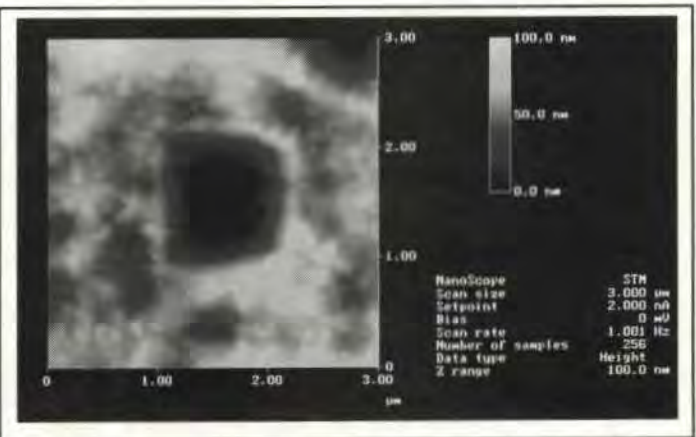


Figura 6. Imagen AFM de la huella de desgaste del recubrimiento ZrN

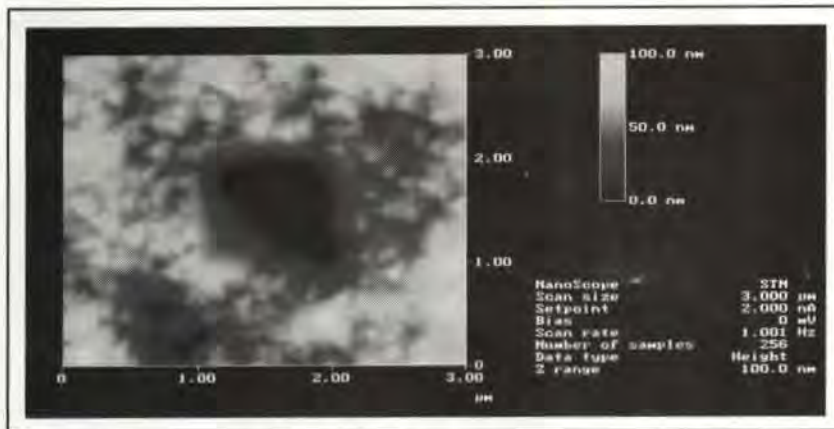


Figura 7. Imagen AFM de la huella de desgaste del recubrimiento AITiN

de los recubrimientos depende tanto de las propiedades del recubrimiento como de las del sustrato y por tanto, los valores obtenidos se hacen útiles con propósitos comparativos más no como parámetro o propiedad del material estudiado.

Las técnicas de deposición juegan un papel muy influyente en las propiedades de los recubrimientos ya que estos condicionan la microestructura de los mismos y por tanto sus propiedades finales. Por esta razón, no sólo se debe pensar en las propiedades del recubrimiento y del sustrato, sino también, en la técnica a utilizar con el fin de lograr un diseño apropiado de las propiedades requeridas.

Existe una correlación general entre los parámetros de deposición del recubrimiento y su respuesta tribológica. Los parámetros de proceso (temperatura del sustrato, características del plasma, presión de gas, etc.), junto con las propiedades del sustrato (composición, microestructura,

topografía), determinan las características del recubrimiento (espesor, composición química, microestructura, topografía superficial, etc.). Esto, por otro lado, gobierna las propiedades básicas del recubrimiento (químicas, térmicas, mecánicas, etc.) junto con las propiedades del sustrato, las propiedades básicas del recubrimiento controlan la respuesta tribológica de una manera compuesta.

Reconocimientos

Este trabajo se financió con recursos de COLCIENCIAS Proyecto (1106-08-775-98).

Agradecimientos

Multi - Arc Inc.
Hystron Inc.
IBM - Almaden Research Center
ICP - ECOPETROL

BIBLIOGRAFÍA

[1] J.L. Hay and G.M. Pharr, "Instrumented Indentation Testing", ASM Handbook, Vol. 8, 2000
[2] S.I. Bulychev, V.P. Alekhin, Kh.

Shorshorov, A.P. Ternovskii, and G.D. Shnyrev, "Determining Young's Modulus from Indenter Penetration Diagram", *Zavod. Lab.*, Vol 41 (No. 9), 1975.

[3] W.C. Oliver and G. M. Pharr, "An Improved Technique for Determining Hardness and Elastic Modulus Using Load and Displacement Sensing Indentation Experiments", *J. Mater. Res.* Vol 7 (No. 6), 1992.

[4] M.F. Doerner and Nix, "A Method for Interpreting the Data from Depth - Sensing Indentation Instruments", *J. Mater. Res.*, Vol 1, 1986, p 601 - 609.

[5] S. Hong, T.P. Weihs, J.C. Bravman, and W.D. Nix, *J. Elec. Mater.* 19 (1990) p 903.

[6] P.A. Steinmann, Y Tardy, H.E Hintermann, "Adhesion Testing by the Scratch Test Method: The Influence of Intrinsic and Extrinsic Parameters on Critical Load", *Thin Solid Films*, 154 (1987)

[7] R. Keneko, T Miyamoto, and E. Hamada, "Microwear", *Handbook of Micro/Nano Tribology*, CRS Press, 1995, P 183 - 221.

[8] C.R. Brundle, C.A. Evans and S. Wilson, "Encyclopedia of Materials Characterization: Surface, Interfaces, Thin Films", *Bulterworth - Heinemann*, 1992.

[9] V.D. Scott and G. Love, *EDS "Quantitative Electron - Probe Microanalysis"*, Jhon Wiley & Sons, New York, 1983.

[10] P.J Martin, "Cathodic Arc Deposition", *Handbook of Thin Film Process Technology*, IOP, 1995.

[11] P.K. Mehrotra and D.T. Quinto, "Techniques for Evaluating Mechanical Properties of Hard Coatings", *J. Vac. Sci. Technol.*, A3 (6), Nov/Dec 1985.

[12] P. Hedenqvist, S. Jacobson, S. Hogmark, "Tribological PVD Coating - Characterization of Mechanical Properties", *Surf. Coat. Technol.*, (97).. 1997, p. 212 - 217.

[13] S. Hogmark, P. Hedenqvist and S. Jacobson, "Tribological Properties of Thin Hard Coatings: Demands and Evolution", *Surf. Coat. Technol.*,(90), 1997.p. 247 - 257.

[14] B.D. Fabes, W.C. Oliver, R.A. Mckee and F.J. Walker, "The Determination of Film Hardness from the Composite Response of Film and Substrate to Nanometer Scale Indentations", J. Mater. Res. Vol 7, No. 11, Nov 1992.

[15] "Standards Test for Microhardness of Materials", ASTM Standard Test Method E-384, Annual Book of Standards 3.01 (American Society for Testing and Materials, Philadelphia, PA, 1989) p. 469.

[16] M.F. Doerner, D.S. Gardner, and W.D. Nix, J. Mater. Res. 1 (1987) p. 845.

[17] D. Lebouvier, P. Gilormini, and E. Felder, J. Phys. D 18 (1985) 9 199.

[18] A.K. Bhattacharya and W.D. Nix, "Analysis of Elastic and Plastic Deformation Associated with Indentation Testing of Thin Films on Substrates", Int. J. Solids Struct., Vol 24 (No. 12), 1988.

[19] A.K. Bhattacharya and W.D. Nix, "Finite Element Simulation of

Indentation Experiments", Int. J. Solids Struct., Vol 24 (No. 9), 1988.

[20] A. Matthews and A. Leyland, "Developments in PVD Tribological Coatings", Society of Vacuum Coaters, 43 Annual Technical Conferences Proceedings, Abril, 2000.

[21] A. Matthews, A. Leyland, K. Holmberg, H. Ronkainen, "Design Aspects for Advanced Tribological Surface Coatings", Surf. Coat. Technol., (100 - 101), 1998.

RECUBRIMIENTO DURO POR DEPOSICIÓN FÍSICA DE VAPOR - PVD

Las siglas PVD corresponden a la expresión inglesa Physical Vapour Deposition, esto es, Deposición Física de Vapor.

Con este nombre se conocen un amplio conjunto de técnicas que tienen en común el empleo de medios físicos (en contraposición a químicos) para obtener el material de recubrimiento en fase vapor. Los recubrimientos se realizan en cámaras de alto vacío (10-6 mbar), requieren temperaturas de proceso medias (400°C) o bajas (<100°C) y se obtienen capas finas (10µm) o muy finas (<1µm) de composición muy controlable.

unos blancos (metálicos o cerámicos) con iones de un gas inerte (Argón) a baja energía (500-1000 eV). Estos átomos pulverizados viajan hasta las superficies próximas depositándose en ellas en proporciones similares a las del blanco de partida. Otras veces, mediante la pulverización simultánea de dos o más materiales es posible producir capas de recubrimientos binarios, ternarios, etc. Los procesos de sputtering tienen el inconveniente de ser más lentos que los de evaporación, pero tienen la ventaja de ser más limpios, más versátiles, más controlables y no necesitar altas temperaturas.

Durante mucho tiempo los sistemas empleados se basaban en fuentes de iones de baja energía y una adecuada disposición geométrica de fuentes, blancos y superficies a recubrir. Recientemente, el empleo de magnetrones desbalanceados permite prescindir de las fuentes de iones y alcanzar velocidades de recubrimiento próximas a las de los procesos de evaporación, de manera que los procesos de sputtering se han hecho comerciales.

Rafael Rodríguez Trias
Jefe Área de Ingeniería de Superficies
A.I.N. (Pamplona, España)

Fuente:
www.ain.es/boletin/difusin1.htm#tema1

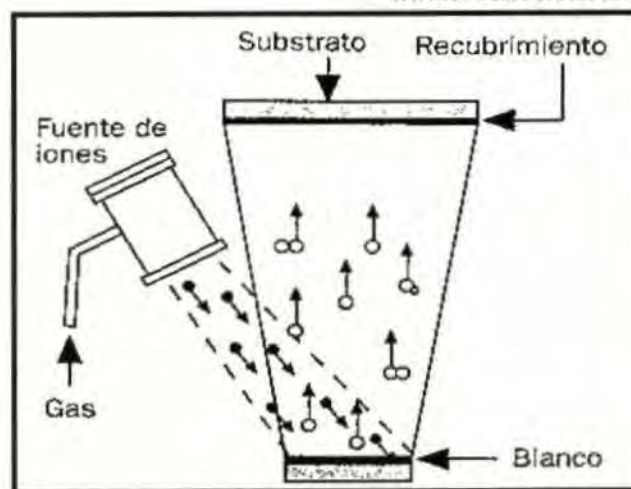
TÉCNICAS DIVERSAS

Las técnicas de PVD más empleadas se pueden agrupar en dos grandes grupos:

1. Técnicas de evaporación.
2. Técnicas de sputtering.

SPUTTERING

El segundo gran grupo de técnicas lo constituyen los procesos de pulverización (sputtering): a diferencia de los procesos de evaporación, los átomos que constituyen el recubrimiento se obtienen bombardeando



Esquema del PVD mediante sputtering con fuente de iones.