



COMPARACIÓN DEL COMPORTAMIENTO AL DESGASTE DE RECUBRIMIENTOS DE AlCrN Y TiAlN DEPOSITADOS POR PVD SOBRE ACERO AISI 4140

S. A. Pesce*⁽¹⁾, A. J. Maskavizan⁽¹⁾

(1) Grupo de Ingeniería de Superficies, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional, Ing. Pereyra 676, C. del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

*Correo Electrónico (autor de contacto): stefanoandres54@gmail.com

Tópico: T6 Tecnología de superficies, tratamientos térmicos y transformaciones de fases. **Categoría:** C1 Trabajos realizados por uno o más estudiantes de grado.

Los recubrimientos cerámicos ternarios depositados mediante PVD presentan múltiples aplicaciones en herramientas para el corte y conformado de metales, entre otras industrias. La incorporación de aluminio en los recubrimientos de TiN y CrN mejora su estabilidad térmica y su resistencia al desgaste. En este trabajo se estudia la adhesión y resistencia al desgaste por deslizamiento y por abrasión de recubrimientos de AlCrN y TiAlN depositados sobre acero AISI 4140 templado y revenido. El recubrimiento de AlCrN presentó mejor adhesión, menor coeficiente de rozamiento y mayor resistencia al desgaste que el TiAlN.

Los recubrimientos cerámicos depositados mediante técnicas de PVD (Physical Vapor Deposition) son ampliamente utilizados en la industria de corte y mecanizado de materiales metálicos. Uno de los primeros recubrimientos utilizados con este fin fue el nitruro de titanio (TiN), el cual permite aumentar hasta 10 veces la vida útil de las herramientas. Sin embargo, los métodos actuales de la industria requieren mayores velocidades, más eficiencia y mayores tasas de remoción de material, por lo que los recubrimientos convencionales pueden no cumplir con estas demandas. Uno de los métodos para mejorar las propiedades térmicas, mecánicas y tribológicas es formando compuestos ternarios como el TiAlN, la incorporación de aluminio a la matriz de nitruro de titanio aumenta la temperatura a la cual puede llegar el filo de las herramientas durante las operaciones de mecanizado, mejorando las propiedades del TiN [1]. Otro recubrimiento muy difundido es el nitruro de cromo (CrN) el cual, debido a sus excelentes propiedades anticorrosivas, bajo coeficiente de rozamiento, alta dureza y buena resistencia al desgaste es aplicado en herramientas de inyección, extrusión y conformado de materiales como el aluminio [2, 3]. Los recubrimientos de AlCrN presentan mejor resistencia y estabilidad térmica, permitiendo su uso en aplicaciones que requieren de altas temperaturas, como, por ejemplo, moldes de fundición [4]. Además de las aplicaciones en herramientas de mecanizado y conformado, estos recubrimientos también han sido estudiados para otros ámbitos, como protección de partes mecánicas utilizadas en la compactación de bicomcombustibles sólidos, en la industria aeronáutica, en implementos agrícolas y hasta prótesis e implantes en biomedicina [5, 6]. En muchas de estas aplicaciones resulta indispensable que las superficies presenten una alta resistencia al desgaste, la erosión y la abrasión, así como también una alta inercia química [1, 3, 5]. Además, para que la mejora en las propiedades de los recubrimientos perdure durante su uso estos deben presentar buena adhesión al sustrato [7].

El acero AISI 4140 es un acero de baja aleación ampliamente utilizado para fabricar piezas de geometrías complejas. Esto se debe a que presenta muy buenas propiedades mecánicas, es endurecible mediante tratamientos térmicos y es fácilmente mecanizado. Sin embargo, sus propiedades tribológicas son deficientes y presenta menor resistencia al desgaste que los materiales cerámicos como el AlCrN y el TiAlN [8].

El objetivo de este trabajo es estudiar la adhesión, coeficiente de rozamiento y resistencia al desgaste por deslizamiento y desgaste abrasivo de recubrimientos de AlCrN y TiAlN depositados por PVD sobre acero AISI 4140.

Se cortaron muestras de una barra de 4140 templado y revenido de 25,4 mm de diámetro y 5 mm de espesor. Previo a la deposición de los recubrimientos, las muestras se lijaron con papel de SiC con granulometrías crecientes hasta #1000. La rugosidad de las muestras luego del lijado fue de $0,026 \pm 0,005 \mu\text{m}$. Los recubrimientos de CrAlN y TiAlN se depositaron mediante PVD por arco catódico en un equipo comercial de la empresa Oerlikon Balzers, estos recubrimientos reciben el nombre de Balinit Alcrona Pro y Balinit Futura Nano, respectivamente. El espesor de los recubrimientos se midió mediante microscopía óptica observando la sección transversal. La adhesión de los recubrimientos se determinó mediante el procedimiento dado por la norma VDI 3198 y mediante Scratch test según la norma ASTM C1624. Se realizaron 5 indentaciones por muestra separadas entre sí una distancia mayor a diez veces su diámetro. Se aplicó una carga de 50 kg por 10 segundos usando un indentador Rockwell, las indentaciones se observaron con microscopía óptica. En el caso del Scratch test se aplicaron cargas constantes de 15, 20, 25, 30, 35, 40 y 50 N. Las huellas se observaron con microscopía óptica y se analizaron según lo especificado en la norma. La resistencia al desgaste y el coeficiente de rozamiento se evaluó mediante ensayos de pin-on-disk según la norma ASTM G99 a temperatura ambiente, se utilizó como contraparte una bolilla de alúmina de 6 mm de diámetro, la velocidad de deslizamiento fue de 0,1 m/s lo largo de una distancia de 500 m aplicando 5 N de carga y 1000 m aplicando 10 N de carga. La resistencia al desgaste abrasivo se midió realizando ensayos de arena seca/rueda de goma en un equipo construido según la norma ASTM

G65, el abrasivo empleado es arena de granulometría AFS 70, se aplicaron 70 N de carga durante 1000, 6000 y 9000 vueltas. Se evaluó la resistencia a la abrasión mediante la pérdida de masa analizando los pesos antes y después de los ensayos en una balanza analítica de 0,1 mg de resolución y se fotografiaron las huellas de desgaste.

El espesor de los recubrimientos fue de $3,09 \pm 0,43 \mu\text{m}$ para el caso del AlCrN y de $2,94 \pm 0,46 \mu\text{m}$ para el TiAlN. La adhesión del recubrimiento de AlCrN se considera HF1 según la clasificación dada por la norma VDI 3198 debido a que se observan pequeñas fisuras, pero no se detectan delaminaciones. En cambio, el recubrimiento de TiAlN presentó mayor cantidad de fisuras, clasificándose como HF2. La carga crítica en los ensayos de rayado fue de 50 N para el AlCrN y de 30 N para el TiAlN.

En los ensayos de desgaste, para una carga de 10 N en 1000 m el coeficiente de rozamiento (CoF) del TiAlN es mayor que el del AlCrN. Para 5 N, 500 m el CoF del AlCrN es similar al acero sin recubrir (en promedio 0,55) y el CoF del TiAlN es más alto y presenta mayores irregularidades. Estas pueden ser producto del desprendimiento del recubrimiento, ya que mediante microscopía óptica se observa que se produjeron fallas por adhesión para las dos condiciones ensayadas. Para 5 N y 500 m la tasa de desgaste del AlCrN es 60 veces menor que la tasa de desgaste del TiAlN, y, aproximadamente, 200 veces menor que la tasa de desgaste del acero sin tratar.

En la tabla 1 se resumen los resultados de los ensayos de desgaste abrasivo.

		Cantidad de vueltas		
		1000	6000	9000
Material	AlCrN	nd	$0,8 \pm 0,4 \text{ mg}$	$18,7 \pm 0,5 \text{ mg}$
	TiAlN	$0,5 \pm 0,2 \text{ mg}$	$15,1 \pm 3,7 \text{ mg}$	$42,7 \pm 7,0 \text{ mg}$
	Patrón	$18,5 \pm 1,5 \text{ mg}$	$131,8 \pm 6,0 \text{ mg}$	$180,2 \pm 16,9 \text{ mg}$

Tabla 1: Pérdida de masa de los ensayos de desgaste abrasivo con 70 N.

Las muestras recubiertas con AlCrN perdieron la menor cantidad de masa en todas las condiciones. Para 1000 vueltas las pérdidas de masa de los dos recubrimientos son de, aproximadamente, un 2 % de la pérdida del patrón. En 6000 vueltas, se detecta una pequeña falla por adhesión en el recubrimiento de AlCrN, mientras que en el recubrimiento de TiAlN se registra una gran delaminación, tal y como se observa en la figura 1, en la que se muestran fotografías de los ensayos para 6000 vueltas. Para 9000 vueltas se observó mayor desprendimiento en el recubrimiento de TiAlN y se registró la falla del recubrimiento de AlCrN, lo cual puede deberse al bajo espesor del recubrimiento.

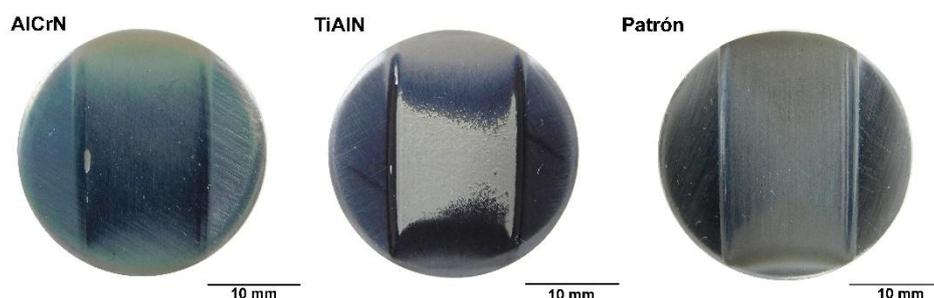


Figura 1: Fotografías de las muestras luego de los ensayos de desgaste abrasivo de 6000 vueltas.

Se concluye que el recubrimiento de AlCrN presenta mejor adhesión y mayor resistencia al desgaste que el recubrimiento de TiAlN depositado sobre acero AISI 4140 templado y revenido.

Agradecimientos: se agradece a la empresa Oerlikon Balzers por la deposición de los recubrimientos.

Referencias

- [1] S. Yang, K. E. Cooke, X. Li, F. McIntosh, D. G. Teer, CrN-based wear resistant hard coatings for machining and forming tools, *Journal of Physics D: Applied Physics*, 2009, 42(10), 104001. doi: 10.1088/0022-3727/42/10/104001 (Paper).
- [2] E. Lotfi-Khojasteh, H. Elmkhah, M. Nouri, O. Imantalab, A. Fattah-Alhosseini, The Study of the Electrochemical and Tribological Behaviors of CrN/AlCrN Coating Deposited by the Arc-PVD Technique, *IJMSE*, 2022, 19(4). doi: 10.22068/IJMSE.2581 (Paper).
- [3] M. Vite, M. Moreno-Ríos, E. A. G. Hernández, J. R. Laguna-Camacho, A study of the abrasive resistance of sputtered CrN coatings deposited on AISI 316 and AISI H13 steel substrates using steel particles, *Wear*, 2011, 271(9-10), 1273-1279. doi: 10.1016/j.wear.2011.01.072 (Paper).
- [4] K. Jokar, H. Elmkhah, A. Fattah-Alhosseini, K. Babaei, A. Zolriasatein, Comparison of the wear and corrosion behavior between CrN and AlCrN coatings deposited by Arc-PVD method, *Materials Research Express*, 2019, 6(11), 116426. doi: 10.1088/2053-1591/ab4645 (Paper).
- [5] P. Miryalkar, S. Chavlitlo, N. Tandekar, y K. Valleti, Improving the abrasive wear resistance of biomass briquetting machine components using cathodic arc physical vapor deposition coatings: A comparative study, *Journal of Vacuum Science & Technology A*, 2021, 39(6), 063404. doi: 10.1116/6.0001228 (Paper).
- [6] Q. Wang et al. Comparison of tribological and electrochemical properties of TiN, CrN, TiAlN and a-C:H coatings in simulated body fluid, *Materials Chemistry and Physics*, 2015, 158, 74-81. doi: 10.1016/j.matchemphys.2015.03.039 (Paper).
- [7] S. Kovačić, F. Cajner, D. Landek, Wear Resistance of TiN/TiCN and TiN/TiBN Multilayer Coatings Applied on Hot Work Tool Steel, *Key Engineering Materials*, 2016, 674, 257-262. doi: 10.4028/www.scientific.net/kem.674.257 (Paper).
- [8] M. Ulutan, O. N. Celik, H. Gasan, U. Er, Effect of Different Surface Treatment Methods on the Friction and Wear Behavior of AISI 4140 Steel, *Journal of Materials Science & Technology*, 2010, 26(3), 251-257. doi: 10.1016/s1005-0302(10)60042-4 (Paper).