

## ANÁLISIS COMPARATIVO DE RECUBRIMIENTOS PROTECTORES DE DLC Y TiSiCN FRENTE AL DESGASTE Y A LA CORROSIÓN

Anibal E. Carmona <sup>(\*)</sup>, Francisco A. Delfin <sup>(\*)</sup>, German Steven <sup>(\*)</sup>, Sonia P. Brühl <sup>(\*)</sup>

<sup>(\*)</sup>Grupo de Ingeniería de Superficies. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Concepción del Uruguay. Ing. Pereira 676, E2360 Concepción del Uruguay, Argentina.

\*Correo Electrónico (autor de contacto): carmonaa@frcu.utn.edu.ar

### 1. RESUMEN

Los elementos de máquinas utilizados en la industria del gas y del petróleo se encuentran expuestos a condiciones de servicio y ambientales que son de características severas para la mayoría de los aceros que se comercializan habitualmente en nuestro país. Para evitar las importaciones o la adquisición de composiciones especiales que suelen ser muy costosas, la ingeniería de superficies brinda las herramientas necesarias para mejorar las condiciones superficiales de los aceros de baja y media aleación, que suelen ser más blandos y quedan expuestos a fenómenos de desgaste y corrosión, a pesar de poder soportar satisfactoriamente los esfuerzos mecánicos a los que son sometidos. Los recubrimientos obtenidos mediante técnicas asistidas por plasma permiten depositar distintos tipos de películas duras sobre estos aceros, con el objetivo de mejorar su comportamiento tribológico y su resistencia al ataque químico.

Los recubrimientos tipo DLC (o Diamond-like Carbon) son reconocidos por tener alta dureza, muy bajo coeficiente de fricción y buena resistencia al desgaste, además de inercia química y resistencia a la corrosión. Pueden ser depositados por diversas técnicas, como por ejemplo Physical Vapor Deposition (PVD), obteniendo espesores de recubrimiento de alrededor de 5  $\mu\text{m}$ . Considerando una disminución en el consumo energético, se consideraría eficaz utilizarlo en maquinaria en general, aunque particularmente interesa para la industria del petróleo y gas y también en la industria automotriz.

Los recubrimientos de carbonitruro de titanio y silicio (TiSiCN) tienen una alta dureza, alta tenacidad, son resistentes al desgaste y pueden tener espesores de hasta 30  $\mu\text{m}$ , lo que facilita el buen desempeño en entornos de erosión severa, como en álabes de compresores aeronáuticos contra partículas sólidas y/o componentes para la exploración y transporte de petróleo y gas en alta mar. Una de las técnicas más utilizadas para la deposición de este tipo de recubrimiento es el PVD Magnetron Sputtering.

En este trabajo se analizaron comparativamente dos recubrimientos PVD diferentes: uno tipo DLC, obtenido mediante la técnica de Plasma Immersion Ion Deposition (PIID); y otro tipo TiSiCN, depositado mediante Plasma Enhanced Magnetron Sputtering (PEMS). Como sustrato se utilizó acero de media aleación AISI 4140 en condición de templado y revenido para obtener máxima tenacidad. Las muestras fueron caracterizadas mediante microscopio óptico, Raman, XPS y se midió espesor de recubrimiento a partir de un corte de sección transversal. Se realizaron ensayos de desgaste tipo Pin-on-Disk, con una bolilla de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  de 6 mm como contraparte, cargas normales de 5 y 10 N, con distancias de deslizamiento de 500 y 1000 m a una velocidad tangencial de 0,1 m/s. Con un perfilómetro mecánico se midió el volumen desgastado en la muestra y se tomaron micrografías de la huella con un microscopio óptico. Los ensayos de desgaste abrasivo se realizaron acorde a la norma ASTM G65, con una carga de 130 N por una distancia de 2400 m y se determinó el desgaste por pérdida de masa. La adhesión del recubrimiento se evaluó mediante Scratch Test de carga constante, con cargas de 25 a 50 N. Se realizaron ensayos de inmersión en cámara de niebla salina con una duración de 100 h en una solución de 5% de NaCl a una

temperatura de 35 °C. Utilizando un potencióstato con un electrodo de calomel saturado en una celda electroquímica con solución de NaCl al 3,5%, se midió el potencial de corrosión y la curva de polarización anódica.

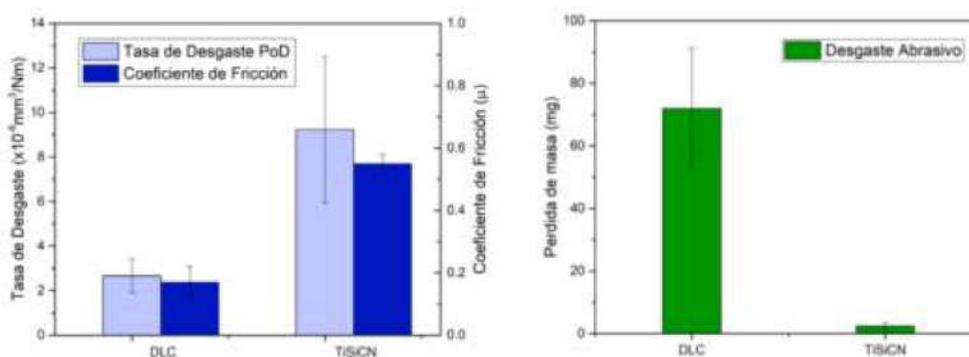
El recubrimiento DLC tiene un espesor de  $4,2 \pm 0,9 \mu\text{m}$  y el TiSiCN de  $19,1 \pm 0,2 \mu\text{m}$ . Según la caracterización por XPS, en la película DLC la concentración de uniones de carbono tipo sp<sup>3</sup> (diamante) es del 45%, mientras que las uniones C-C tipo sp<sup>2</sup> (grafito), están presentes en un 15%, por lo que podemos concluir que es un recubrimiento duro y que probablemente tenga muy poco contenido de hidrógeno. Este resultado se confirma con el espectro Raman, con una relación ID/IG de 0,3. En la película TiSiCN se observa al Ti formando distintos óxidos, nitruros y carbonitruros, mientras que el Si conforma mayormente óxidos (SiO<sub>2</sub>) y nitruros (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>).

En cuanto al comportamiento al desgaste, el recubrimiento DLC mostró un muy bajo coeficiente de fricción y tasa de desgaste. Se observaron fallas por desprendimiento del recubrimiento, relacionadas a un problema de adhesión al sustrato. Por otro lado, la película de TiSiCN mostró un coeficiente de fricción y una tasa de desgaste superior, pero sin perder la integridad del recubrimiento.

En los ensayos de desgaste abrasivo, el TiSiCN fue superior, con una pérdida de masa de 1,2 mg, frente al DLC que perdió 58 mg, que igualmente mejora respecto a la muestra de AISI 4140 patrón, que perdió 211,3 mg. En los ensayos de Scratch Test el recubrimiento DLC presentó la primera falla a los 25 N mientras que en el recubrimiento TiSiCN fue a los 35 N.

Luego de la exposición a la niebla salina, el recubrimiento DLC mostró una superficie limpia, frente al TiSiCN que tiene mayor cantidad de fallas ocasionadas por picado. En los ensayos de polarización, ambos mostraron una tendencia similar, un comportamiento pseudo-pasivo a densidades de corriente de entre 10 y 100  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ .

A pesar de tener alta dureza, uniformidad superficial y muy bajo coeficiente de fricción, el recubrimiento DLC tiene problemas de adhesión, por lo que uso estaría limitado a contactos deslizantes de moderada y baja presión, resistiendo muy bien ambientes corrosivos. Por otro lado, el recubrimiento TiSiCN tiene mayor capacidad de carga para soportar presiones de contacto más altas, sobre todo en situaciones abrasivas, aunque su coeficiente de fricción y resistencia a la corrosión fueron peores que el DLC.



**Figura 1.** Tasa de desgaste y coeficiente de fricción en Pin-on-Disk (izquierda) y pérdida de masa en desgaste abrasivo (derecha) para ambos recubrimientos.

## 2. REFERENCIAS

1. Wei, R., Plasma enhanced magnetron sputtering deposition of superhard, nanocomposite coatings. Plasma Surface Engineering Research and its Practical Applications, Research Signpost, Kerala, 2008.
2. Wei, R. Development of new technologies and practical applications of plasma immersion ion deposition (PIID). Surface & Coatings Technology, 2010. 204(0): p. 2869-2874.