

# COMPORTAMIENTO MECÁNICO DE RECUBRIMIENTOS DE CARBONO TIPO DLC SOBRE ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO

S. P. Brühl y E. L. Dalibon

Grupo de Ingeniería de Superficies  
Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Concepción del Uruguay  
Ing. Pereira 676 E3264BTD Concepción del Uruguay, Entre Ríos

Correo Electrónico: dalibone@frcu.utn.edu.ar

## Introducción

Los aceros inoxidable martensíticos son utilizados en instrumentos de corte, quirúrgicos y cuchillería donde se requiere buen comportamiento al desgaste, durabilidad en los filos y resistencia a la corrosión. Los recubrimientos tipo DLC (Diamond Like Carbon) presentan bajo coeficiente de fricción, son resistentes al desgaste y son químicamente inertes. Su dureza varía entre 10 y 30 GPa dependiendo del contenido de hidrógeno y de la cantidad de uniones  $sp^3$  [1,2]. Por estas propiedades, estos recubrimientos pueden ser utilizados para aumentar la vida útil de los instrumentos de corte. Sin embargo, tienen problemas cuando son depositados sobre sustratos de acero dado que el carbono difunde fácilmente en el acero dificultando la nucleación y crecimiento de los recubrimientos, el hierro favorece la formación de grafito y además los coeficientes de expansión térmica de estos recubrimientos y de los aceros no son compatibles lo cual causa altas tensiones residuales y mala adhesión [3]. La nitruración asistida por plasma permite endurecer el acero y puede servir como pretratamiento para mejorar la adhesión y el comportamiento tribológico del sistema [4,5]. En este trabajo se estudian dos tipos de recubrimientos DLC, uno hard y otro soft de a:C-H-Si depositados sobre el acero inoxidable martensítico, sólo templado revenido y nitrurado.

## Objetivos

El objetivo de este trabajo es evaluar y comparar el comportamiento mecánico de dos recubrimientos diferentes de carbono amorfo hidrogenado tipo DLC y comprobar el efecto del nitrurado previo en la adhesión y la resistencia al desgaste.

## Materiales y métodos

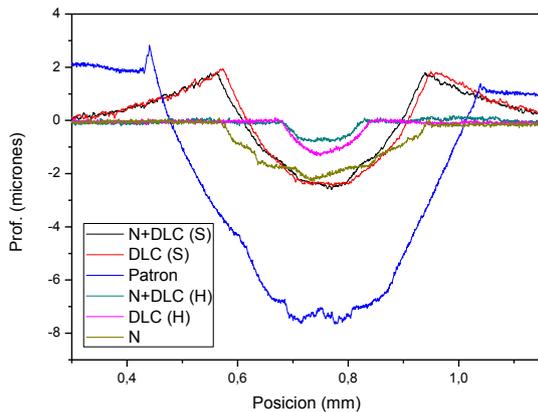
El material utilizado en este estudio fue el acero inoxidable martensítico AISI 420 cuya composición química es 0.38% C, 13% Cr, 0.44 Mn, 0.42 Si, 0.07 Mo, 0.02 P y Fe como balance. Las muestras utilizadas se cortaron de una chapa de 2 mm de espesor en discos de 20 mm de diámetro. Los recubrimientos de carbono amorfo fueron depositados por CVD asistido por plasma utilizando en el caso de los DLC hard, metano e hidrógeno como gases precursores con una intercapa de silicio y para los tipo soft metano, hidrógeno, hexametildisilazano y tetrametilsilano. Además la temperatura de tratamiento fue diferente: 150 °C para los primeros y de 400 °C para los últimos. Estos recubrimientos fueron depositados sobre el acero sólo templado y revenido y sobre el acero nitrurado. La nitruración iónica se llevó a cabo a 400 °C, en una mezcla de 20%N<sub>2</sub>-80%H<sub>2</sub> durante 10 horas. Se observó la microestructura de los recubrimientos y de las zonas modificadas con MO, SEM, SEM-FIB, se analizó con espectroscopia Raman y difracción de rayos X. Se midió la dureza superficial y el módulo elástico de los recubrimientos con nanoindentación. Se evaluó el comportamiento tribológico mediante ensayos de pin on disk con 5 N de carga, contraparte de alúmina y una distancia de 500 m. También se realizaron ensayos de deslizamiento recíproco con 12 N de carga, contraparte de carburo de tungsteno durante 90 minutos.

## Resultados y discusión

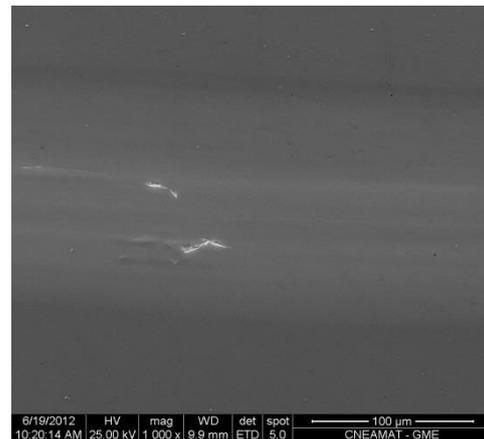
El espesor de los recubrimientos fue diferente, en los DLC hard fue de 2,5 micrones y en los DLC soft de 15-20 micrones aproximadamente, ambos con una interfase regular con el sustrato. La dureza de los recubrimientos alcanzó 20 GPa para los DLC (H) y 12 GPa para los DLC (S), y los módulos elásticos fueron de 250 GPa y 63 GPa respectivamente. Esto se corresponde con la información obtenida por espectroscopia Raman donde pudo estimarse que el contenido de hidrógeno en los DLC (H) es de alrededor del 20% y en los DLC(S) mayor al 40%. Además la proporción de uniones  $sp^3$  resultó mayor en los hard que en los soft.

En los ensayos de pin on disk, el coeficiente de fricción resultó menor en el recubrimiento DLC (H) donde los valores estables fueron de 0,08, que en el recubrimiento DLC (S) donde fue de 0,1. En ambos casos, el coeficiente de fricción se redujo un orden de magnitud aproximadamente con respecto al acero nitrurado y sólo templado y revenido donde fue de 0,7 y 0,8 respectivamente. En estos ensayos no se pudo cuantificar el desgaste debido a que la huella fue indetectable.

Con respecto a los ensayos de deslizamiento recíproco como puede observarse en los perfiles los recubrimientos presentaron diferente comportamiento al desgaste. En los recubrimientos soft, se observan crestas a los costados de la huella que indican que hubo deformación, en cambio, en los DLC(H) es posible que se haya producido solo transferencia de material a la contraparte y deformación de la misma debido a la alta dureza del recubrimiento (Figura 1).



**Figura 1.** Perfiles de los ensayos de deslizamiento



**Figura 2.** Foto SEM de la huella de desgaste

En relación al tratamiento previo de nitruración, la capa nitrurada tuvo influencia sólo en los recubrimientos tipo hard debido a que a como el recubrimiento es fino la capa nitrurada tiene influencia en el comportamiento mecánico del sistema debido a que el recubrimiento se quiebra en pequeñas regiones como puede observarse en la figura 2, cuando no tiene el soporte de la capa nitrurada. Con respecto a la adhesión en ambos tipos de recubrimientos, la capa nitrurada previa mejoró la adhesión.

### Conclusiones

La nitruración iónica mejora la adhesión pero sólo mejora el comportamiento mecánico en los recubrimientos duros y finos, los DLC hard. Los DLC soft tienen la ventaja de ser más blandos y tener una gran capacidad de absorción de energía, por lo tanto no tiene tanta influencia la dureza del sustrato. Para aplicaciones donde se requiere alta dureza, como por ejemplo la conservación de un flanco de corte, se recomienda el DLC (H), aunque para aplicaciones sobre sustratos blandos y situaciones de erosión o abrasión, por ejemplo, se recomienda el DLC (S).

Las características diferentes entre hard y soft, se debe a la estructura del recubrimiento, concretamente la presencia de hidrógeno y el tipo de uniones de C-C predominantes. Con el mismo equipamiento, sólo cambiando gases precursores, temperatura y tiempo de proceso, se puede definir la estructura y lograr ambos tipos de recubrimientos.

### Referencias

1. A.Grill, Diamond Relat. Mater. 8 (1999) 428-434.
2. J. Robertson, Mat. Sci. Eng. R. 137 (2002) 129-281.
3. C.F.M. Borges, E. Pfender, J. Heberlein, Diamond Relat. Mater. 10 (2001) 1983-1990.
4. R. Snyders, E. Bousser, Ph. Amireault, J.E. Klemberg-Sapieha, E. Park, K. Taylor, K. Casey, L. Martinu, Plasma Process. Polym. 4 (2007) S640-S646.
5. M. Azzi, P. Amirault, M. Paquette, J.E. Klemberg-Sapieha, L. Martinu, Surf. Coat. Technol. 204 (2010) 3986-3994.

### Agradecimientos

Al apoyo económico de la SeCyT de la UTN y de la Fac. Reg. Concepción del Uruguay. También a la colaboración de todos los becarios alumnos del Grupo GIS.

A nuestros colegas Dr. Daniel Heim de la Univ. de Cs. Aplicadas de la Alta Austria, y a Prof. Vladimir Trava-Airoldi, del INPE, Brasil, por los recubrimientos DLC.