

COMPORTAMIENTO TRIBOLÓGICO DE UN ACERO AISI 316L NITRURADO POR PLASMA DC-PULSADO

E. De Las Heras¹, S. P. Brühl², A. Cabo³, P. A. Corengia⁴

¹ Hidrógeno en Metales, Unidad Actividad Materiales, CAC-CNEA, Argentina, ² Facultad Regional C. del Uruguay, UTN, Concepción del Uruguay, Argentina, ³ Ionar S.A., San Martín, Argentina, ⁴ INASMET-Tecnalia, Donostia-San Sebastián, España

sbruhl@gmail.com

INTRODUCCIÓN

La nitruración iónica es una técnica que permite endurecer aceros inoxidables a bajas temperaturas, entre 300 °C y 450 °C, de forma tal que la formación de nitruro de Cr quede inhibida y se preserve su buena resistencia a la corrosión. Asimismo, mediante un *sputtering* previo al tratamiento es posible eliminar la película pasiva, favoreciendo la difusión de nitrógeno en el material. La elevada concentración de nitrógeno en la red de hierro resulta en una alta dureza, debido a la generación de elevadas tensiones de compresión.

Las propiedades obtenidas en la capa nitrurada, (ej.: resistencia a la corrosión, propiedades mecánicas, espesor y resistencia al desgaste, entre otras) dependen del tratamiento de nitruración y de los parámetros utilizados como: temperatura, mezcla de gases, tiempo_{on/off}, densidad de corriente, etc.

En el presente trabajo se estudió el comportamiento tribológico de acero AISI 316L nitrurado por plasma DC-pulsado a 400 °C durante 20 h, con dos mezclas de gases, muestras N₁ y N₂, y se las comparó con una muestra sin tratar, ST.

MATERIALES Y MÉTODOS

El acero utilizado fue AISI 316L, en condición de recocido, con dureza de ~83 HRB. Previamente a la nitruración, las muestras fueron limpiadas en un *sputtering* de 3 h usando una mezcla de 50% Ar + 50% H₂ para remover la película pasiva que protege al acero inoxidable. El tratamiento fue realizado en un reactor industrial de la empresa IONAR S. A. en las siguientes condiciones: t: 20 h; T: 400 °C; P: 6.5 hPa; V: 700 V; Pulso on/off: 70-200 μs; densidad de corriente: ~1 A.cm⁻²; Atmósfera: N1: 75% H₂+25% N₂; N2: 80% H₂+20% N₂.

La respuesta tribológica fue evaluada con un ensayo tipo *pin-on-disc* en un equipo Falex ISC Tribometer System, en las siguientes condiciones: Carga

Normal: 50 g, 100 g y 250 g; t: 120 s; Diámetro del pin: 5 mm (bolilla de alúmina); Radio: 7 mm; Velocidad lineal: 10 cm s⁻¹.

El volumen de desgaste se calculó suponiendo la sección de la huella como media elipse, y multiplicándolo por el perímetro formado por el diámetro medio de la huella;

$$Vol_{desg} = (\pi ab)(2\pi R) = 2\pi^2 Rab$$

donde: *R*: radio [mm], *a*: Profundidad media de la huella [mm] y *b*: Ancho medio de huella [mm]. Para calcular la tasa de desgaste se dividió la pérdida de masa por carga y distancia de desgaste:

$$Tasa_{desg} = \frac{(\rho Vol_{desg})}{L \cdot v_{lin} \cdot t_{ens}}$$

donde: ρ: densidad del acero en g/cm³; L: carga usada en el ensayo en N; *v_{lin}*: velocidad tangencial o lineal en m/s; *t_{ens}*: duración del ensayo en segundos.

La profundidad y ancho de las huellas se midió por perfilometría 3D (WLI) con un Perfilómetro Óptico marca Zygo Modelo NewView™ 7100. Las huellas fueron observadas por medio de SEM.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis metalográfico de los cortes transversales, de las muestras N1 y N2 muestran una capa exterior de espesor ~ 15 μm y ~ 14 μm y una capa interior de ~ 4 μm y ~ 2.5 μm para las muestras N₁ y N₂, respectivamente. La dureza superficial de las mismas fue de 1125 +/- 70 y 1090 +/- 50 HV₅₀ para N₁ y N₂, respectivamente.

La Figura 1 presenta las curvas del Coeficiente de fricción (CoF) vs. Tiempo. En la muestra ST ensayada bajo carga de 50 g, la disminución del CoF en el *steady-state*, podría deberse a la formación de un film delgado de óxido, que protege la superficie del contacto metálico directo pin/disco. Para el caso de las cargas de 100 g y 250 g, los

valores de CoF no se presentaron elevados al comienzo del ensayo sino que mostraron variaciones periódicas (asociado con el mecanismo de adhesión durante todo el transcurso del mismo presentando un desgaste metálico severo. El valor del CoF en el *steady-state* es del mismo orden para ambas cargas, en correspondencia con lo observado por otros autores (De Souza, 2010; Dogan, 2002; Li, 2005).

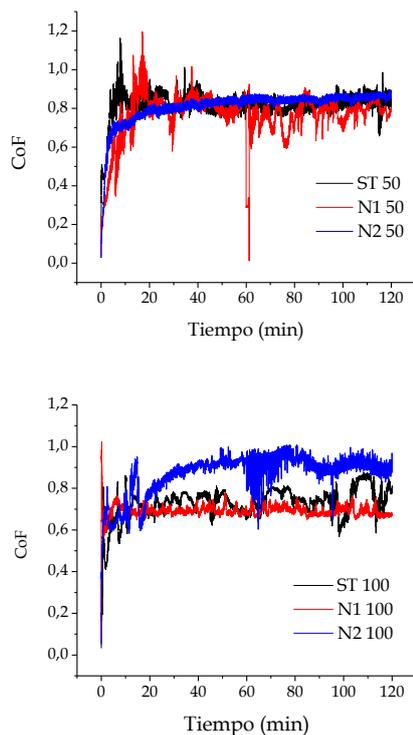


Fig. 1: CoF vs t, para ST, N₁ y N₂ con cargas de: (a) 50 g, (b) 100 g

La muestra N₁ ensayada bajo carga de 50 g, presentó un valor de CoF elevado al comienzo del ensayo, luego se observaron variaciones periódicas. Para la carga de 100 g, el comportamiento fue más uniforme durante todo el ensayo, mientras que para la carga de 250 g, se destaca un incremento al principio, seguido de una disminución y un nuevo valor pico. Las irregularidades en el gráfico de CoF podrían deberse a que el material de la superficie es arrastrado de una parte de la huella a otra provocando cambios en su profundidad y ancho.

Las muestras N₂, mostraron valores de CoF similar a las probetas ST y N₁, para el ensayo con carga de 50 g, pero fue mayor para las cargas de 100 g y 250 g. Para la carga de 100 g, se observó un aumento del CoF posterior al período *running-in*, posiblemente debido a la falla de la capa nitrurada, que provocaría la aparición de partículas duras dentro de la huella.

La Figura 2 presenta el gráfico de Tasa de desgaste vs. Carga, para las muestras ST, N₁ y N₂. Se observa que el volumen desgastado más elevado corresponde a la muestra ST, seguido de la N₂ y N₁. Esta mejora en la resistencia al desgaste está relacionada con las tensiones internas presentadas por las capas nitruradas y, posiblemente, a la inhibición del mecanismo de adhesión que se encuentra presente en las muestras ST. Para las muestras ST la tasa de desgaste se incrementa con la carga aplicada. La tasa de desgaste de la probeta N₁ es la más baja, y este hecho se encontraría en concordancia con la mayor dureza, espesor de capa nitrurada y porcentaje de N de la muestra N₁, respecto de la N₂.

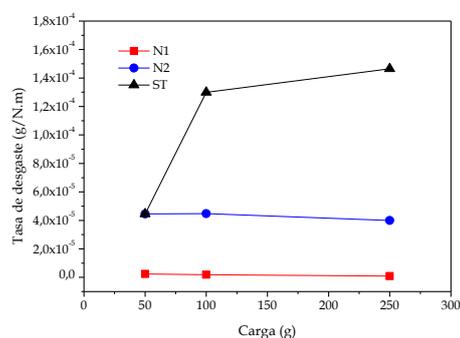


Fig. 2: Gráfico de Tasa de Desgaste vs. Carga para las muestras ST, N₁ y N₂

En el análisis SEM de la superficie de las muestras desgastadas, se observó que el principal mecanismo de desgaste para las muestras ST fue el de adhesión, acompañado de abrasión leve. En el caso de las muestras N₁ y N₂, la superficie se encuentra libre de deformación plástica, más lisa que la muestra ST y con leves rasgos de abrasión. Los valores de CoF fueron dependientes del tratamiento superficial, y aunque el valor de CoF puede ser similar, los mecanismos de desgaste actuantes en ST, N₁ o N₂ han probado ser diferentes.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo fue realizado en INTI-Mecánica, Argentina. Las perfilometrías de las huellas de desgaste fueron medidas en la Universidad del Saarland, Alemania.

REFERENCIAS

- De Souza S.D., Olzon-Dionysioa M., Basso R.L.O., S. de Souza. *Materials Charact.* 61, 992-999, 2010.
- Dogan H, Findik F, Morgul O. *Materials and Design* 23, 605-610, 2002.
- Li K.Y., Zhou Z.F., Bello I., Lee C.S., Lee S.T. *Wear* 258, 1577-1588, 2005.