

## Tribología de aceros inoxidables martensíticos con tratamientos de superficie asistidos por plasma

E. Walther<sup>(i)</sup>, D. A. Egidi<sup>(ii)</sup>, P. A. Corengia<sup>(i)</sup>, M. O. Quinteiro<sup>(i)</sup>, G. Ybarra<sup>(ii)</sup>, A. Cabo<sup>(iii)</sup>

<sup>(i)</sup> INTI-Mecánica

<sup>(ii)</sup> INTI-Procesos Superficiales

<sup>(iii)</sup> IONAR S.A.

### Introducción

La nitruración por plasma es un tratamiento termoquímico asistido por plasma ampliamente utilizado para mejorar las propiedades tribológicas de componentes de acero, fundición, titanio, etc.

Una de las muchas ventajas de este tratamiento respecto a la nitruración convencional proviene del efecto del sputtering durante el tratamiento asistido por plasma.

Este efecto produce una remoción de los contaminantes de la superficie y permite una mayor transferencia del N desde el plasma al componente <sup>[1]</sup>.

En el caso de los aceros inoxidables, el sputtering es fundamental, ya que permite eliminar la película pasiva ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ) que se encuentra en la superficie de los mismos y permite la transferencia de N.

Los aceros inoxidables martensíticos son una buena alternativa para medios corrosivos no muy severos y aplicaciones a bajas temperaturas <sup>[2, 3]</sup>.

Es por ello que se han estudiado y analizado las características microestructurales y el comportamiento tribológico de un acero inoxidable martensítico AISI 410 nitrurado por plasma DC-pulsado a diferentes temperaturas de proceso.

### Metodología / Descripción Experimental

La aleación en estudio posee la siguiente composición química (peso %): C, 0.13; P, 0.022; S, 0.005; Mn, 0.74; Cr, 12.93; Mo, 0.170; Al, 0.015; V, 0.030; Si, 0.43; Ni, 0.28; Fe, balance. La dureza del sustrato empleado fue de 212 HV con una estructura de carburos precipitados en una matriz ferrítica; algunos granos de ferrita delta también fueron observados.

Previo a la nitruración iónica, las muestras fueron limpiadas mediante sputtering empleando una mezcla de gases compuesta por 50% Ar + 50%  $\text{H}_2$  durante 2 h para remover la película pasiva formada en los aceros inoxidables <sup>[4]</sup>. El tratamiento fue llevado a cabo en un reactor industrial descrito previamente <sup>[5]</sup> y los parámetros de proceso se detallan en la Tabla I. La microestructura fue revelada mediante el reactivo metalográfico Marble, y fue examinada con un microscopio óptico (OM) Zeiss Axiotech. El perfil de microdureza fue determinado con un

microdurómetro Vickers (Akashi, MVK-H2) usando una carga de 25 g. Las fases presentes en la capa nitrurada fueron determinadas mediante difracción de rayos X de haz rasante (GIXRD) con un difractómetro Philips modelo PW3710 empleando radiación de  $\text{Co K}\alpha$ .

Tabla I. Condiciones y parámetros de nitruración.

Parámetro	Valor
Tiempo	20 h
Tensión	750 V
Pulso on/off	70–200 $\mu\text{s}$
Densidad de corriente	1,03 mA $\text{cm}^{-2}$
Presión	60 Pa
Temperatura	673 K
Atmósfera	75% $\text{H}_2$ - 25% $\text{N}_2$

Las muestras empleadas para determinación de coeficiente de fricción consistieron en discos con un diámetro de 30 mm y 8 mm de espesor, los cuales fueron desbastados hasta papel grano 600. Los ensayos pin-on-disc fueron realizados con un equipo PLINT T79. Se empleó una bolilla de alumina de 6,33 mm de diámetro, una carga de 8 N y la velocidad fue de 120 rpm. Se realizaron tres ensayos en muestras nitruradas y tres en muestras sin tratamiento.

El ensayo de desgaste se efectuó en una máquina AMSLER A135 bajo una condición combinada de rodadura-deslizamiento. Los radios exteriores de ambas probetas, superior e inferior ( $R_{\text{sup}}$  y  $R_{\text{inf}}$ ), fueron de 40 mm y el espesor de 8 mm. La velocidad de rotación de la muestra superior ( $V_{\text{sup}}$ ) fue de 200 rpm y de la inferior ( $V_{\text{inf}}$ ) 215 rpm. En todos los casos las muestras en contacto tuvieron el mismo tratamiento. Se emplearon cargas normales de 50, 125 y 200 Kg. Las probetas fueron pesadas a diferentes intervalos de tiempo con el objeto de determinar la evolución del desgaste. Luego a los ensayos, las muestras y el debris colectado fueron examinados con un microscopio electrónico de barrido (SEM) Philips SEM 505 y con una lupa estereoscópica Olympus (SM).

### Resultados

El perfil de microdureza de las muestras nitruradas (ver Fig. 1) indicó la presencia de una interfase abrupta entre la capa tratada y el núcleo (matriz). Esta interfase está asociada a la precipitación de nitruros en el frente de nitruración ya que el acero AISI 410, posee

aproximadamente 13% de Cr siendo este elemento un fuerte formador de nitruros.

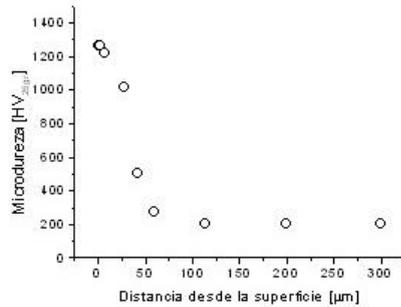


Figura 1. Perfil de microdureza de un acero AISI 410 nitrurado por plasma DC-pulsado durante 20 h a 673 K.

Del análisis del difractograma obtenido se identificó, en la superficie de la muestra nitrurada, la presencia de las siguientes fases: CrN,  $\alpha$ -Fe,  $Fe_4N$  y  $Fe_{2-3}N$ . En la micrografía (ver Fig. 2) se puede observar una capa blanca de aproximadamente 30  $\mu m$  de espesor, con algunos precipitados oscuros aparentemente situados en borde de grano. Según algunos autores, la fase oscura está asociada a una estructura laminar ( $CrN+\alpha$ ), de similares características morfológicas a la estructura perlítica de los aceros al C mientras que la capa blanca podría deberse a precipitados coherentes de CrN y  $Fe_4N$  y a la presencia de una solución sólida sobresaturada de N en  $\alpha$ -Fe.

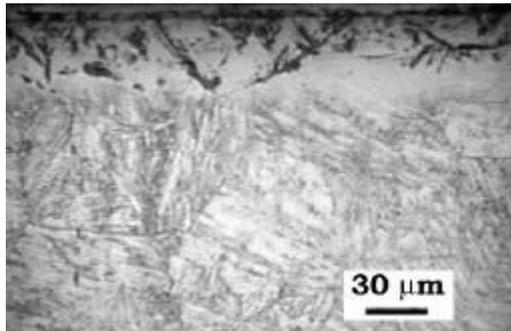


Fig. 2: Micrografía óptica de la sección de una muestra de acero AISI 410 nitrurado por plasma DC-pulsado durante 20 h a 673 K.

Los ensayos *pin-on-disc* (ver Fig. 3) muestran que el coeficiente de fricción  $\mu$ , fue reducido desde un valor de 0,7-0,8 a 0,4-0,5 para un intervalo de 400 s para las muestras nitruradas durante 20h a 673 K.

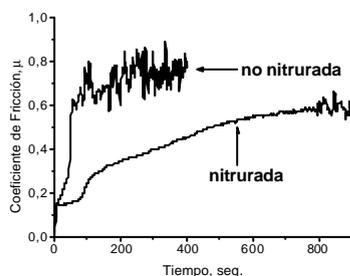


Fig. 3: Coeficiente de fricción versus tiempo de deslizamiento de un acero AISI 410 sin nitrurar y nitrurado por plasma DC-pulsado durante 20 h a 773 K.

Las grandes variaciones en el  $\mu$  en la muestra no tratada, podrían asociarse a la adherencia entre

el acero y la bolilla, llevando a un desgaste adhesivo.

Luego del ensayo de desgaste AMSLER realizado bajo las cargas de 50, 125 y 200 kg se observó que las muestras no tratadas presentaron una superficie desgastada rugosa, con surcos profundos en dirección de deslizamiento, indicando desgaste severo. Las muestras nitruradas por plasma ensayadas bajo una carga de 50 kg, presentaron una superficie suave con una fina pista de partículas de óxidos generada por la fricción, característica del proceso de tribo-oxidación, mientras que las desgastadas bajo cargas de 125 y 200 Kg. mostraron además de un desgaste oxidativo la existencia de delaminación. El gráfico pérdida en peso vs. carga aplicada (ver Fig. 4) muestra el valor de pérdida en peso para las muestras nitruradas y sin nitrurar a diferentes cargas, la mejora sustancial puede ser observada en la muestra ensayada bajo carga de 200 kg.

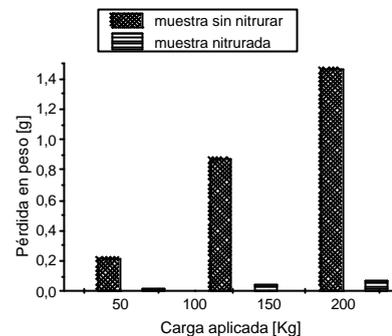


Figura 4. Pérdida en peso vs. carga aplicada. Muestras nitruradas y no nitruradas

### Conclusiones

La aplicación de la nitruración por plasma DC-pulsado en muestras de un acero inoxidable martensítico, demostró ser un tratamiento efectivo en mejorar el coeficiente de fricción y la resistencia al desgaste comparado con las muestras que no tratadas.

El mecanismo de desgaste que operó en las muestras nitruradas que fueron ensayadas con una carga aplicada de 50 Kg. fue principalmente de tribo-oxidación, mientras que en las muestras sometidas a cargas mayores operaron simultáneamente los mecanismos de oxidación y delaminación. Las muestras no nitruradas sufrieron un desgaste severo, mostrando principalmente abrasión.

La mejora en el comportamiento tribológico podría estar asociada a la presencia de una capa nitrurada de alta dureza, homogénea y continua en la superficie de las muestras tratadas.

A la memoria del Ing. Mario O. Quintero y de Hugo Helguero, compañeros y amigos

### Referencias

- [1] B. Edenhoffer, Heat. Treat. Met; 1 1 1974) 23.
- [2] I. Alphonso, A. Chainani, P.M. Raole, B. Ganguli, P.I. John, Surf. Coat Technol. 150 (2002) 263-268.
- [3] S.K. Kim, J.S. Yoo, J.M. Priest, M.P. Fewell, Surf. Coat. Technol. 163-164 (2003) 380-385.
- [4] J. Yoon, M. Son, G. Lee, Journal of the Korean Institute of Metals & Materials. 35 4 (1997) 501.

---

[5] P. Corengia, G. Ybarra, C. Moina, A. Cabo, E. Broitman, sometido.