

## Fricción y desgaste de un acero inoxidable austenítico AISI 316L nitrurado por plasma

E. De Las Heras<sup>(i)</sup>, F. Walther<sup>(ii)</sup>, P. A. Corengia<sup>(i)</sup>, M. O. Quinteiro<sup>(i)</sup>, A. Cabo<sup>(iii)</sup>, S. Brühl<sup>(iii)</sup>

<sup>(i)</sup> INTI-Mecánica

<sup>(ii)</sup> Ionar S.A.

<sup>(iii)</sup> Facultad Regional C. del Uruguay-Universidad Tecnológica Nacional

### Introducción

Los aceros inoxidables austeníticos son conocidos por su alta resistencia a la corrosión siendo ampliamente utilizados en la industria alimenticia y química. Sin embargo presentan una pobre dureza superficial y resistencia al desgaste, lo que limita su campo de aplicación en equipamientos y mecanismos donde esta propiedad es requerida<sup>[1,2]</sup>.

La nitruración es un tratamiento ampliamente utilizado que provee a la superficie de los materiales tratados una buena resistencia a la fatiga y al desgaste. La nitruración iónica, específicamente, permite realizar procesos a bajas temperaturas siendo esto beneficioso para el caso de aceros inoxidables ya que permite trabajar a temperaturas menores de 440 °C y evitar la precipitación de nitruros de cromo (CrN, Cr<sub>2</sub>N) en la superficie y subsuperficie<sup>[3,4]</sup>.

En el caso particular de los aceros inoxidables austeníticos, diferentes trabajos sostienen que, entre 310 °C y 420 °C, la capa nitrurada está compuesta por una solución sólida FCC sobresaturada de nitrógeno, también llamada austenita expandida ( $\gamma_N$ )<sup>[5,6]</sup>. Así mismo T. Czerwicz y col.<sup>[7]</sup> han encontrado en muestras enfriadas de manera lenta la presencia de dos subcapas, diferenciándose ambas en el contenido de N siendo este mayor en la superior. En este trabajo se estudió y discutió el comportamiento tribológico y microestructural de un acero AISI 316L nitrurado por plasma DC-pulsado a 400 °C durante 20 h.

### Metodología / Descripción Experimental

El acero utilizado presentó la siguiente composición química (% peso): C, 0.02; Mn, 1.53; P, 0.023; S, 0.024; Si, 0.69; Cr, 16.4; Ni, 10.4; Mo, 2.00; Fe, balance. El material sin tratar presentó una estructura austenítica con una dureza de ~ 83 HRB.

En forma previa a la nitruración, las muestras fueron limpiadas mediante *sputtering* durante 3h usando una mezcla de 50% Ar + 50% H<sub>2</sub> de forma de remover la película pasiva que protege al acero inoxidable. El tratamiento de nitruración fue llevado a cabo en un reactor industrial bajo las condiciones detalladas en la Tabla I.

Tabla I. Condiciones de nitruración

Parámetros	Valor
Tiempo	20 h
Temperatura	400 °C
Presión	6.5 hP
Atmósfera	75% H <sub>2</sub> +25% N <sub>2</sub>
Tensión	700V
Pulso on/off	70-200 $\mu$ s
Densidad de corriente	~1 A.cm <sup>-2</sup>

Las muestras nitruradas y sin tratar fueron ensayadas en una máquina de desgaste AMSLER A 135 bajo una condición combinada de rodadura-deslizamiento (10%), y se emplearon cargas normales de 50, 125 y 200 kg con una velocidad de rotación de 200 rpm para la muestra superior y 220 rpm para la inferior. Se efectuaron tres ensayos para cada condición de carga realizando interrupciones periódicas con el objeto de pesar las muestras y recoger el *wear debris* para su posterior análisis. Luego del ensayo de desgaste, las muestras y el *debris* fueron observados por medio del microscopio óptico (OM) Zeiss Axiotech, microscopio electrónico de barrido (SEM) Philips SEM 505 y con una lupa estereoscópica Olympus. Se obtuvieron además perfiles de microdureza Vickers con un microdurómetro Akashi MVK-H2.

### Resultados

La muestra nitrurada bajo la condición detallada en la Tabla 1 fue observada por medio de SEM (*ver Fig. 1*), en la misma se distingue la presencia de una capa nitrurada continua y uniforme, de aspecto claro sin zonas oscuras características de la precipitación de Cr<sub>x</sub>N destacándose también la presencia de dos subcapas.

El perfil de microdureza (*ver Fig. 2*) muestra una transición abrupta entre la capa nitrurada y el sustrato. Esta condición esta asociada a la presencia de una capa formada por  $\gamma_N$ .

Las muestras sin nitrurar ensayadas a 50, 125 y 200 kg mostraron una pérdida de peso constante según se incrementó el número de vueltas. Además se apreció un mayor desgaste en las probetas superiores frente a las muestras inferiores.

En el caso de las muestras nitruradas la pérdida en peso se incrementó con el aumento de la

carga aplicada. En este caso no se apreció diferencia significativa en la pérdida en peso detectada entre las muestra superiores e inferiores.

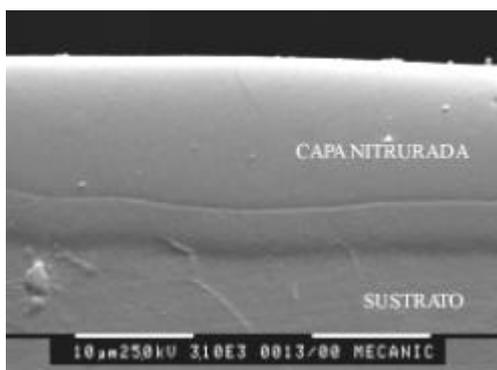


Fig. 1: Micrografía electrónica de una muestra nitrurada bajo una descarga DC-pulsada durante 20 h a 400 °C.

El gráfico de pérdida en peso vs número de vueltas de las muestras nitruradas y sin nitrurar sometidas al ensayo de desgaste bajo las condiciones descritas de carga normal de 125 kg, (ver Fig. 2) muestra que las probetas nitruradas presentaron una pérdida en peso de aproximadamente un 25% menor que las muestras sin nitrurar.

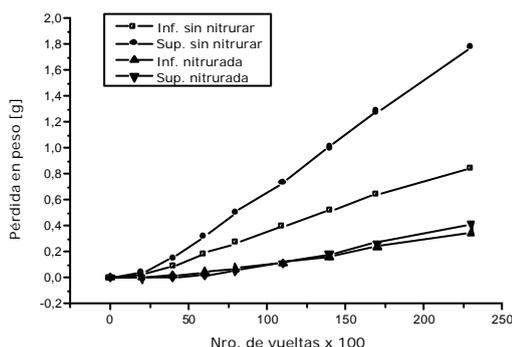


Fig. 2. Gráfico de pérdida en peso vs. nro. de vueltas x 100, para muestras desgastadas bajo carga de 125kg.

En todas las muestras se observó una gran deformación plástica subsuperficial, siendo este fenómeno mayor en el caso de las muestras sin nitrurar. Esto estaría asociado a que la capa nitrurada otorga a la superficie una alta dureza que inhibe la deformación. En el caso de las muestras sin tratar se observó que el *wear debris* presentó un aspecto metálico sin presencia de oxidación. Se encontró que el mismo está compuesto por partículas en forma de láminas de diferentes tamaños incrementándose estas con el aumento del número de vueltas y la carga normal aplicada (ver Fig. 3). En el caso de las muestras nitruradas se generó *debris* para la carga de 50 kg luego de la interrupción correspondiente a las 17000 vueltas, mientras que para la carga de 125 kg se apreció un *debris* de aspecto oxidado y menor tamaño que para las muestras sin nitrurar bajo las mismas condiciones. Las características nombradas anteriormente no se mantuvieron para la carga de 200 kg en la cual el *debris* se

presentó partir de las 4000 vueltas, de color metálico y mayor tamaño.

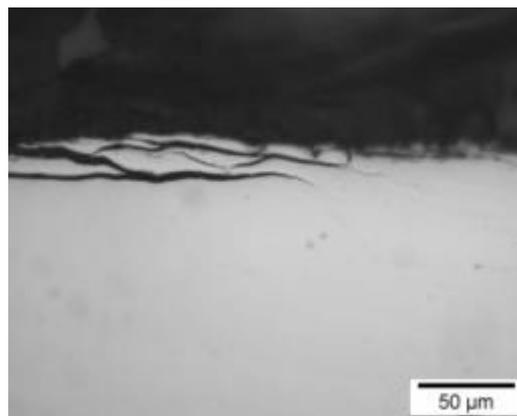


Fig. 3: Imagen OM de la sección transversal de una muestra de acero AISI 316L luego del ensayo de desgaste (23000 vueltas) bajo una carga de 50 Kg

### Conclusiones

La aplicación de la nitruración por plasma DC-pulsado en muestras de un acero inoxidable austenítico AISI 316L demostró ser un tratamiento efectivo para mejorar la resistencia al desgaste. Esto se debe principalmente a que la capa nitrurada otorga una superficie de alta dureza que inhibe la deformación plástica subsuperficial.

El principal mecanismo de desgaste que operó en las muestras nitruradas y sin nitrurar fue el de delaminación. Sin embargo en las muestras nitruradas sometidas a 125 kg operaron simultáneamente los mecanismos de oxidación y delaminación.

Se observó una marcada influencia de la carga aplicada en el desgaste de ambas muestras, siendo este mayor para las cargas más elevadas y para las muestras no tratadas.

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

Los autores quieren agradecer la colaboración recibida por el Centro de Procesos Superficiales por el equipo Metler Toledo AB204.

### Referencias

- [1] Zhao Cheng, C. X. Li, h. Dong, T. Bell; low temperature plasma nitrocarburising of AISI 316 austenitic stainless steel. *Surface & Coatings Technology* (2004)
- [2] Peter A. Dearnley, Giles Aldrich-Smith, Corrosion-wear mechanisms of hard coated austenitic 316L stainless steel. *Wear* 256 (2004) 491-499.
- [3] V. Singh, K. Marchev, c. V. cooper, E. I. Meletis. Intensified plasma-assisted of AISI 316L stainless steel. *Surfaces and Coatings Technology* 160 (2002) 249-258.
- [4] Pablo A. Corengia, G. Ybarra, C. Moina, A. Cabo, E. Broitman. Enviado a *Surfaces and Coatings Technology*
- [5] Y. Sun, T. Bell, 9-16. Z. Kolosvary, J. Flis. The response of austenitic stainless steels to low-temperature plasma nitriding. 1 1999, pp 9-16.
- [6] Y. Li, Low temperature plasma nitriding of 316 stainless steel-nature of S phase and its thermal stability. *Surface Engineering* 2001 17 N°2 147-152.
- [7] T. Czerwicz, N. Renevier, H. Michel, Low-temperature plasma-assisted nitriding. *Surface and Coating Technology* 131 (2000) 267-277.