

## Efecto de la geometría en componentes de acero nitrurados por plasma

Calahonra, M.C.<sup>(0)</sup>; Egidi, D.A.<sup>(0)</sup>; De Las Heras, E.<sup>(0)</sup>; F de la Serna<sup>(0)</sup>, Corengia, P. A.<sup>(0, (1))</sup>, Svoboda, H.<sup>(0)</sup>

<sup>(0)</sup>INTI-Mecánica

<sup>(0)</sup>Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires

### Introducción

La nitruración iónica es un tratamiento termoquímico asistido por plasma, utilizado para aumentar la dureza, resistencia al desgaste y a fatiga de piezas de acero [1]. En aceros de baja aleación, este tratamiento produce dos capas llamadas capa blanca o de compuestos y zona de difusión [1-2]. Sin embargo, el espesor, la continuidad y la uniformidad de estas zonas varían con la temperatura, la tasa de "sputtering" y la aparición de efectos de borde y de cátodo hueco, entre otros. La nitruración de piezas con geometrías complejas (moldes, engranajes, piezas con agujeros, etc.) presenta un desafío tecnológico, ya que introducen variaciones en los parámetros eléctricos y pueden modificar las estructuras formadas, alterando las propiedades de la capa superficial y provocando fallas en servicio. En estas situaciones, se originan capas nitruradas no uniformes. Estas variaciones son producto del comportamiento del potencial  $\phi$ , el campo eléctrico  $E$  y la densidad superficial de carga  $\sigma(\rho)$ , en las proximidades de cantos agudos o aristas [3,4].

En este trabajo se analizó la influencia del diámetro y profundidad de los agujeros cilíndricos en la capa de compuestos de un acero AISI 4140 nitrurado por plasma en un equipo industrial empleando una descarga tipo "glow DC-pulsada". La caracterización se realizó mediante microdureza, microscopía óptica y electrónica de barrido.

### Descripción Experimental

La composición química del acero AISI 4140 empleado fue la siguiente (peso %): C, 0.41; P, 0.014; S, 0.011; Mn, 0.82; Cr, 0.90; Mo, 0.17; Si, 0.30; Ni, 0.04; Fe, balance. Una barra de acero fue templada desde 1113 K y revenida a 823 K durante 2 h y finalmente enfriada en aire, resultando un material con una dureza final de 330 HV<sub>25g</sub>.

Las muestras fueron confeccionadas con un agujero central de diámetros  $d = 2, 4, 6, 10$  y  $12$  mm y profundidades  $Z = 3, 8$  y  $15$  mm (ver Fig. 1).

En la Tabla I se detalla la identificación de las muestras estudiadas.

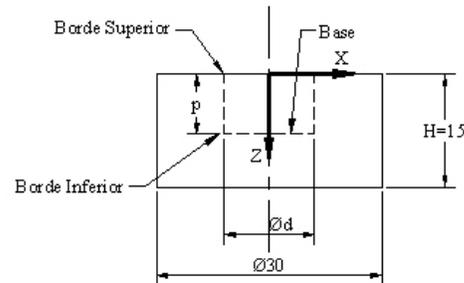


Fig. 1: Esquema de las dimensiones y disposición de los ejes (X, Z) de las muestras estudiadas.

Después de la limpieza con acetona en un baño ultrasónico, los sustratos fueron nitrurados en un reactor por plasma DC-pulsado; bajo los siguientes parámetros de procesos tiempo: 15 h; tensión: 750 V, pulso on/off: 70–200  $\mu$ s; densidad de corriente: 1,03 mA.cm<sup>-2</sup>; presión: 6 hPa; temperatura 773 K; atmósfera: 75% H<sub>2</sub> - 25% N<sub>2</sub>.

Tabla I. Identificación de muestras nitruradas en función del diámetro y profundidad del agujero.

Profundidad [mm]	Diámetro [mm]					
	0	2	4	6	10	12
3	p0 d0	p3 d2	p3 d4	p3 d6	P3 d10	p3 d12
8	p0 d0	p8 d2	p8 d4	p8 d6	P8 d10	p8 d12
15	p0 d0	p15 d2	p15 d4	p15 d6	p15 d10	p15 d12

Luego de la nitruración iónica las muestras fueron seccionadas y preparadas metalográficamente para determinar el espesor de capa de compuestos y profundidad de zona de difusión en el contorno de los agujeros. El espesor de la capa de compuestos fue determinado mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM) Philips SEM 505 mientras que la profundidad de la zona de difusión fue obtenida por medio de la microdureza en diferentes posiciones en el contorno de los agujeros medida con un microdurómetro Vickers (Akashi, MVK-H2) usando una carga de 25 g. Se realizaron mediciones de difracción de rayos X en una muestra plana (cilindro) antes y después de la

nitruración con un difractor Philips PW 1810 usando radiación  $\text{Co K}\alpha$ .

## Resultados

Del análisis microestructural (ver Fig. 2) y de microdureza (ver Fig. 3) se desprende que el espesor de la capa de compuestos y la profundidad de la zona de difusión fue máxima en las zonas donde  $Z \rightarrow 0$  y disminuye según se incrementa el valor de  $Z$  como puede ser observado en los perfiles de microdureza. Esto podría estar asociado con que la acumulación de cargas eléctricas en  $Z \rightarrow 0$  es máxima, produciendo una mayor tasa de re-deposición en esta zona.

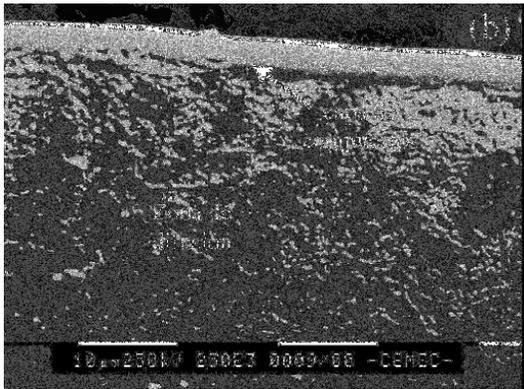
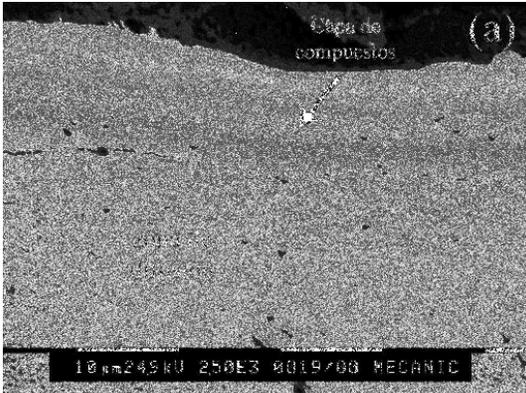


Fig. 2: Micrografías SEM del contorno del agujero de la muestra p15d12 a diferentes profundidades. (a)  $Z = 30 \mu\text{m}$ , (b)  $Z = 14500 \mu\text{m}$

En las muestras nitruradas se observó un incremento del espesor de la capa de compuestos y microdureza desde del borde hacia el centro, observándose el espesor máximo y la mayor microdureza en el centro del orificio ( $X = 0$ ). Las muestras nitruradas con orificios de menor diámetro y mayor profundidad no presentaron capa de compuestos en las zonas cercanas a la base del agujero.

Esta inhomogeneidad de la tasa de deposición dentro de los orificios podría estar relacionada con el aspecto geométrico de los mismos, gobernada por la razón entre el diámetro y la profundidad [5]. En la base de los agujeros estudiados se observó que según se incrementa la profundidad disminuye el espesor de capa de compuestos y la microdureza subsuperficial. Esto puede ser

explicado por el hecho de que durante la nitruración las especies activas del plasma pueden ser consumidas por las paredes del agujero y de esta forma no se logra una eficiente nitruración en la base del mismo. De esta manera la concentración de nitrógeno desciende provocando una disminución de la tasa de deposición.

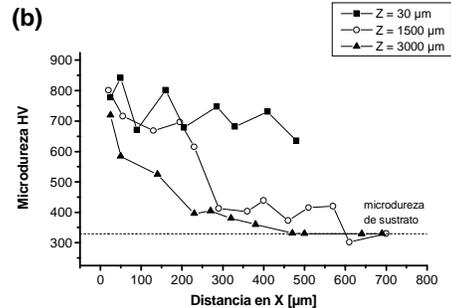


Fig. 3: Perfiles de microdureza determinados a diferentes profundidades  $Z$ . muestra p3d12

## Conclusiones

Las capas nitruradas formadas en las muestras con agujeros presentaron variaciones considerables en el espesor de capa y la microdureza, esto podría ser consecuencia de las irregularidades del campo eléctrico y la densidad superficial de carga. Del análisis de los estudios de microscopía y microdureza se desprende que a medida que la relación diámetro/profundidad disminuye se presentan mayores variaciones de los espesores de capa formados y los perfiles de microdureza en las paredes laterales y la base de los agujeros.

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

Los autores quieren agradecer la colaboración recibida por Adolfo Rodrigo, Fernando Rodríguez y Fabian Alvarez de CAC- CNEA.

## Referencias

- [1] B. Edenhofer, Heat Treatmt of Metals, 1, 1974, pp. 23.
- [2] P. Corengia, M. G. Traverso, D. García Alonso-García, D. A. Egidi, G. Ybarra, C. Moina y A. Cabo, Proc. Jornadas SAM/CONAMET Simposio Materia, 2003, pp. 460-463.
- [3] C. Alves Jr., E.F. da Silva, A. E. Martinelli. Surface and Coatings Technology, 139, 2001, pp.1-5.
- [4] A.R.P. de Ataíde, C. Alves Jr., V. Hajek, J.P. Leite, Surface and Coatings Technology, 167, 2003, 52-58.
- [5] J.L. Vossen. J. Vac. Technol., 1974, v.11, n.5, pp. 875-877

Para mayor información contactarse con:  
Pablo Corengia [corengia@inti.gov.ar](mailto:corengia@inti.gov.ar)