

Nitruración iónica de acero inoxidable martensítico en procesos cortos: estudio de la resistencia al desgaste y a la corrosión

A. Carmona^(a), E. L. Dalibón^(a), R. Charadia^(a), A. Dalke^(c), y S. P. Brühl^(a,b)

^(a) Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Argentina

^(b) Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina

^(c) Institute of Materials Engineering, Technical University of Freiberg, Germany.

Autor principal: sonia@frcu.utn.edu.ar

Introducción y Experimento

Los aceros inoxidables martensíticos como el acero AISI 420 son aceros de alta dureza y resistencia mecánica, además de presentar una buena resistencia a la corrosión en diversos ambientes (rural, costero, urbano, etc). La nitruración iónica es un proceso de difusión termoquímico asistido por plasma y se ha aplicado con éxito en aceros inoxidables auténticos, dado que la limpieza superficial se realiza en un plasma de H₂ y Ar (sputtering) y luego con el control de la temperatura, las presiones parciales de gases de nitruración (N₂ y H₂), se pueden controlar las estructuras y fases que se desarrollan en la superficie, por ejemplo en el caso de acero AISI 304 o 316L, se puede evitar la precipitación de carburos de cromo que sería afectaría negativamente la resistencia la corrosión. En aceros inoxidables martensíticos los resultados no han sido tan favorables, no se comercializa y aún hay poca literatura científica [1-4]. El hecho de ser un acero de alto carbono, que necesita un tratamiento térmico para alcanzar dureza y tenacidad, y que sólo tiene 12% de cromo, representa un desafío.

En este trabajo se presentan resultados de un trabajo conjunto donde se nitruraron algunas muestras en un equipo semi industrial en la TU Freiberg en Alemania, y otras en un equipo experimental del Grupo GIS, en UTN, Argentina. En los dos casos se eligió la ruta del corto tiempo y un incremento de densidad de corriente, conseguido a través de presiones parciales más altas de nitrógeno, y temperaturas más altas que la nitruración iónica tradicional de mayor duración. Reducir el tiempo de proceso, es una ganancia desde el punto de vista industrial, y representa también un ahorro de energía. Se analizó microestructura, dureza, espesor de capa y penetración del tratamiento, resistencia al desgaste en máquina pin on disk y resistencia a la corrosión en medios clorados, usando un electrolito de NaCl al 3,5%.

Tabla 1. Parámetros de proceso

Muestras	Tratamiento Térmico	Nitruración por plasma DC pulsado			
		Tiempo	Gases	Duty Cycle	Temperatura
G1.1	Temple desde 1050 °C y revenido durante el proceso	2 h	N ₂ 50%	70 μs - 140 μs	420 °C
G1.2					440 °C
G2.1	Temple desde 1020 °C y revenido antes de la nitruración (2 hs)	6 h	N ₂ 23.8%	1 ms – 1ms	420 °C
G2.2			N ₂ 29.4%		

Se cortaron muestras de una barra cilíndrica en forma de discos de 25 mm de diámetro y 6 mm de espesor. Fueron rectificadas en ambas caras y luego lijadas con granulometría decreciente hasta #1000. El grupo 1 (G1) fue el tratado en Alemania y el Grupo 2 (G2) en Argentina. En la Tabla 1 se presentan los parámetros

del tratamiento térmico y los de nitruración. Después de cortar las muestras se incluyeron en resina fenólica para observar con microscopio óptico y SEM la microestructura en la sección transversal. También se hicieron perfiles de dureza con indentador Vickers y carga de 25 g. En la superficie se midió con carga de 50 g. Sobre la superficie se realizó un análisis de difracción de rayos X (DRX) con radiación $\text{CuK}\alpha$. Los experimentos de desgaste por deslizamiento se hicieron en un equipo pin-on-disk, usando una bolilla de alúmina como contraparte y cargas de 3 y 5N. Los ensayos de corrosión fueron curvas potenciodinámicas en una celda de tres electrodos, con un electrodo de calomel saturado como referencia y uno de Pt como auxiliar.

Resultados y discusión

No son comparables ambos procesos por la diferencia de potencia del plasma, pero si son posibles las comparaciones de temperatura en el G1 y de porcentaje de N_2 , en el G2, que permitió incrementar la corriente en un 25%. Las micrografías ópticas de una muestra de cada caso se muestran en la Fig. 1. En la Tabla 2 se presentan los valores de espesor de capa y de dureza. Vale aclarar que los estudios de DRX, no mostrados por falta de espacio, revelaron una fase α' conocida como martensita expandida, nitruros de hierro tipo $\gamma\text{Fe}_4\text{N}$ y nitruros tipo $\text{Fe}_{(2,3)}\text{N}$, pero en ningún caso nitruro de cromo. Lo que sí se evidencian son carburos tipo M_7C_3 y M_{23}C_6 .

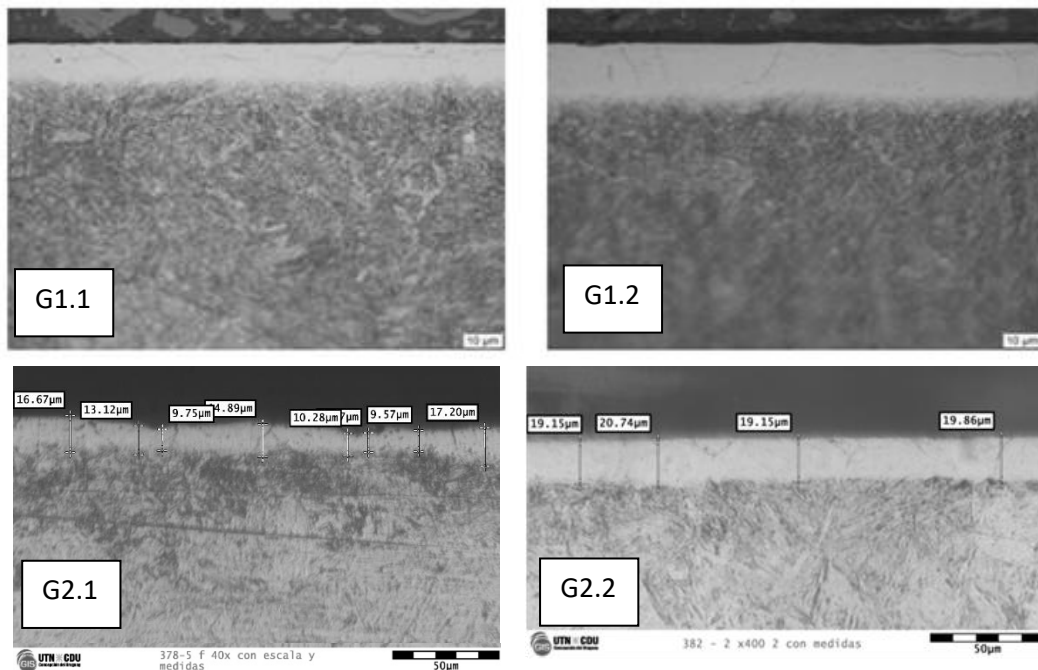


Figura 1. Micrografías de las secciones transversales

Tabla 2. Resultados de espesor de capa y dureza

Muestra	Dureza en sup.	Espesor de capa	Penetración de la dureza
G1.1	1283 ± 20 HV	10,8 ± 0,4 µm	18,5 µm
G1.2	1445 ± 35 HV	15,4 ± 0,5 µm	30,6 µm
G2.1	1150 ± 60 HV	10,7 ± 1,6 µm	20,2 µm
G2.2	1250 ± 25 HV	19,7 ± 0,7 µm	25,5 µm

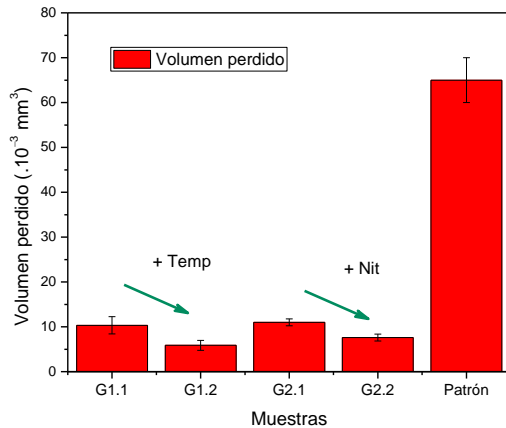


Figura 2. Pérdida de masa comparada

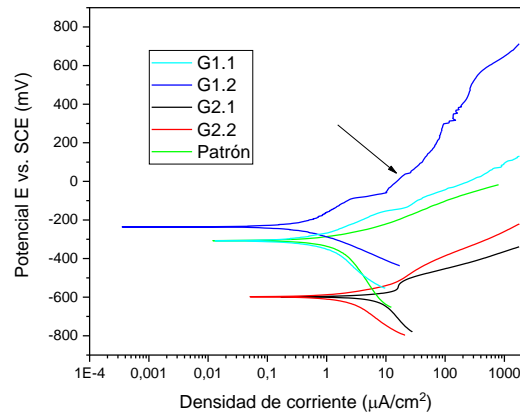


Figura 3. Curvas catódica y anódica comparadas

En la Fig. 2 se observa que la mejor resistencia al desgaste la mostró la probeta del G1 nitrurada a la temperatura mayor (+ Temp), de mayor espesor de capa y mayor penetración de dureza en profundidad. En el Grupo 2, perdió menos masa la muestra nitrurada con mayor presión parcial de N_2 (+ Nit). A su vez todas las muestras perdieron más de 6 veces menos masa que la muestra patrón sin nitrurar. En el caso de la resistencia a la corrosión, se nota en la Fig. 3 que también la muestra G1.2 mostró un potencial de corrosión más noble y una pequeña zona pseudo pasiva.

Conclusiones

Es posible obtener una buena capa nitrurada de alrededor de 10 micrones en procesos cortos, con buena resistencia al desgaste moderada a la corrosión. Sin embargo el compromiso de llevar el proceso a dos horas, exige aumentar mucho la densidad de corriente y la capa comienza formar fisuras, que afectan su resistencia mecánica y favorecen la corrosión por picado. Resta seguir investigando tratamientos entre 2 y 6 horas y con parámetros que permitan mejorar efectivamente la resistencia a la corrosión en medios clorados.

Palabras claves: nitruración, acero inoxidable, desgaste, corrosión

Área de interés: Materiales

Sub-área de interés: Películas delgadas e ingeniería de superficies

Tipo de presentación: Oral (X) Poster ()

Referencias:

- [1] Y. Li, Y. He, J. Xiu, W. Wang, Y. Zhu, B. Hu, Wear and corrosion properties of AISI 420 martensitic stainless steel treated by active screen plasma nitriding, *Surface and Coatings Technology* 329 (2017) 184-192. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2017.09.021>
- [2] T. Aizawa, T. Yoshino, K. Morikawa and S.-I. Yoshihara, Microstructure of Plasma Nitrided AISI 420 Martensitic Stainless Steel at 673K, *Crystals* 9 (2019) 60. <https://doi.org/10.3390/cryst9020060>
- [3] A. Schramm, S. M. Jafarpour, C. Schimpf, H. Biermann, A. Dalke, Effect of bias plasma on active screen nitrocarburising response of AISI 420 martensitic stainless steel, *Vacuum* (2022) 205, e111389. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2022.111389>



[4] C. J. Scheuer, R. P. Cardoso, S. F. Brunatto, Sequential low-temperature plasma-assisted thermochemical treatments of the AISI 420 martensitic stainless steel, *Surface and Coatings Technology* 421 (2021) e127459, <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127459>.