



## ANÁLISIS DE MICROESTRUCTURA Y COMPORTAMIENTO A LA CORROSIÓN DE UN ACERO INOXIDABLE MARTENSÍTICO NITRURADO Y NITROCARBURADO ASISTIDO POR PLASMA

**L. Munar<sup>\*(1)</sup> y E. Dalibon<sup>(1)</sup>**

(1) Grupo de Ingeniería de Superficies (GIS), Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Ing. Pereira 676, Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

\*Correo Electrónico: [lautabv@gmail.com](mailto:lautabv@gmail.com)

**Tópico:** T6 Tecnologías de superficies, tratamientos térmicos y transformaciones de fases. **Categoría:** C2 Trabajos de investigación o desarrollo de fin de carrera de grado.

En el presente trabajo se estudió el comportamiento a la corrosión de un acero inoxidable martensítico DIN 1.4021, templado, nitrurado y nitrocarburado, durante 2 h, a dos temperaturas distintas: 420 °C y 440 °C. Se observaron las capas en un microscopio óptico. Se realizaron ensayos de microdureza. Se analizó la microestructura por difracción de rayos X. Y se realizaron ensayos de corrosión de niebla salina y potenciodinámicos. En el análisis de microestructura de las capas por DRX, se detectaron picos de “martensita expandida” ( $\alpha'_N$ ), de la fase  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N y de la fase  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N en las muestras nitruradas y las muestras nitrocarbурadas presentan cementita (Fe<sub>3</sub>C). Las muestras tratadas a 440 °C presentaron mayor espesor de capa y un mejor comportamiento a la corrosión.

El empleo de los aceros inoxidables martensíticos en la fabricación de válvulas, partes de bombas, instrumentación quirúrgica, elementos de corte, entre otras aplicaciones, exige buenas propiedades tribológicas y resistencia a la corrosión. Por esta razón, para mejorar estas propiedades sin afectar la resistencia a la corrosión, la nitruración y nitrocarbурación asistidas por plasma son una buena opción debido a la baja temperatura de proceso y, además, son tratamientos ambientalmente amigables. En estos tipos de tratamientos de difusión, el nitrógeno (y el carbono) coexisten de dos maneras: en solución sólida ocupando los espacios intersticiales formando “martensita expandida”, o bien, formando nitruros (y carbonitruros) de hierro y cromo. La capa más superficial, formada por una matriz de “martensita expandida” y nitruros de hierro, son los responsables de brindarle dureza superficial, aumentar la resistencia al desgaste y proteger frente a la corrosión al acero [1].

Las muestras patrón de acero inoxidable DIN 1.4021 fueron templadas a 1000 °C durante 20 min [2] obteniéndose una dureza final promedio de 522 ± 39 HV<sub>0,05</sub>. El revenido se hizo durante el nitrurado y nitrocarbурación a la temperatura de proceso. Las temperaturas de los tratamientos fueron de 420 °C y 440 °C con una duración de 2 h. Las muestras nitruradas y nitrocarbурadas serán denominadas PN y PNC, respectivamente, seguidas con un número que indica la temperatura. La atmósfera fue de 50% de H<sub>2</sub> y 50% de N<sub>2</sub> para la nitruración, y para la nitrocarbурación, la atmósfera estuvo formada por 48% de H<sub>2</sub>, 48% de N<sub>2</sub> y 4% de CH<sub>4</sub>. Dichas muestras fueron tratadas y caracterizadas en la Universidad Técnica de Freiberg (Alemania).

Las muestras fueron cortadas e incluidas, se observaron las capas formadas en un microscopio óptico, se realizaron ensayos de microdureza con un indentador Vickers, se analizaron las microestructuras de la superficie mediante difracción de rayos X con radiación de Cu K $\alpha$ . Se evaluó la resistencia a la corrosión a través de ensayos de cámara de niebla salina con una atmósfera de NaCl al 5% a una temperatura de 35 °C y una duración de 100 h según norma ASTM B117 y ensayos electroquímicos en una solución de NaCl, electrodo de referencia de calomel saturado y contraelectrodo de platino.

Las micrografías revelaron que las muestras nitruradas presentaron espesores de capa de 10,78 ± 0,44  $\mu$ m y 15,43 ± 0,47  $\mu$ m para las temperaturas de 420 °C y 440 °C, respectivamente. Mientras tanto, las muestras nitrocarbурadas, presentaron espesores de capa de 8,98 ± 0,48  $\mu$ m y 12,57 ± 0,77  $\mu$ m para las temperaturas de 420 °C y 440 °C, respectivamente.

Las muestras nitruradas y nitrocarbурadas presentaron una dureza superficial promedio de 1315 ± 65 HV<sub>0,05</sub> y 1307 ± 42 HV<sub>0,05</sub>, respectivamente.

Como se puede apreciar en la Figura 1, en la muestra sin tratar se detectaron picos de martensita ( $\alpha'$ -Fe). En las muestras nitruradas, se detectaron picos de “martensita expandida” ( $\alpha'_N$ ), de la fase  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>N y de la fase  $\gamma$ -Fe<sub>4</sub>N. En cuanto a las muestras nitrocarbурadas, se detectaron picos de  $\alpha'_{N,C}$ , de la fase  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>(N,C) y de cementita (Fe<sub>3</sub>C). No se detectaron picos de CrN. Cuando se compara los tratamientos a 440 °C, vemos que hay un corrimiento de los picos de la “martensita expandida” hacia ángulos menores en las muestras nitrocarbурadas, esto coincide con lo reportado en [3], donde las muestras nitrocarbурadas mostraron mayor parámetro de red y es posible que se deba a que el efecto de la expansión de la martensita es mayor cuando el nitrógeno actúa en conjunto con el carbono.

Las muestras ensayadas en la cámara de niebla salina fueron observadas con un microscopio óptico. Se determinó que en las muestras tratadas hubo una combinación de corrosión generalizada y corrosión por picado, destacándose la muestra nitrurada a 440 °C debido a que presentó la menor área afectada.

En cuanto a los ensayos potenciodinámicos, en la Figura 2, se puede observar que las muestras tratadas a 440 °C son más nobles, puesto que presentaron un mayor potencial de corrosión ( $E_{corr}$ ) y una pequeña zona cuasi-pasiva, lo que podría indicar una mejor resistencia a la corrosión por picado. Se destaca la muestra nitrocarburada a 440 °C ya que presenta, además, mayor potencial de ruptura ( $E_{rup} = 284$  mV) y mayor diferencia de potencial ( $E_{rup} - E_{corr} = 461$  mV) con respecto a las demás muestras. Las muestras tratadas a 420 °C mostraron un comportamiento similar al del acero DIN 1.4021 sin tratar. Las micrografías revelaron que en las muestras tratadas a 440 °C hubo una corrosión por picado, en las muestras tratadas a 420 °C se observó una combinación de corrosión generalizada y corrosión por picado, por lo que presentaron una condición más severa con mayor cantidad de *pits* de corrosión y de mayor diámetro. La resistencia a la corrosión depende de la microestructura y de la composición química de las capas. Las capas que presentan la fase  $\epsilon$ -Fe<sub>2-3</sub>(N,C) ofrecen una mayor resistencia a la corrosión que las capas que presentan la fase  $\gamma'$ -Fe<sub>4</sub>N de acuerdo a lo reportado en la literatura [4].

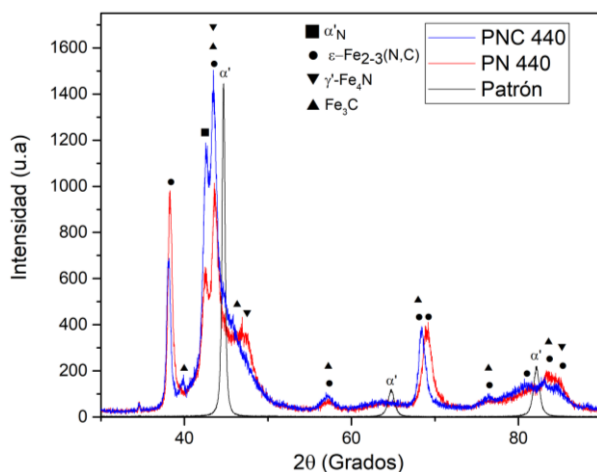


Figura 1: Difractogramas de rayos X de las muestras del acero sin tratar, nitrurado y nitrocarburado a 440 °C.

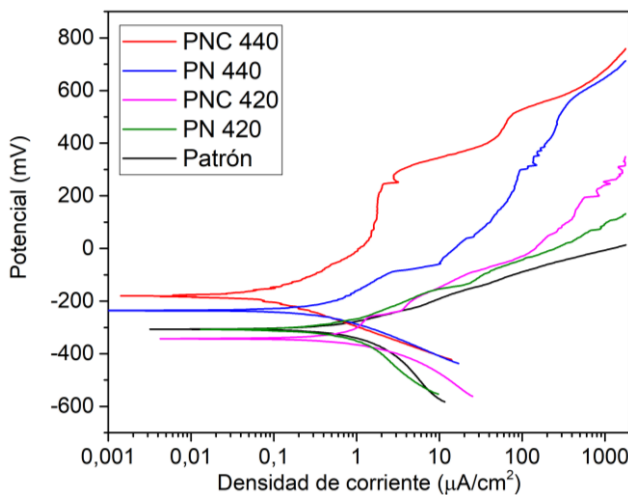


Figura 2: Curvas de polarización de las muestras tratadas y sin tratar.

En base a los resultados presentados, se puede concluir que la nitruración y la nitrocarburation de muy corta duración forman una capa modificada que permite aumentar la dureza del acero y mejorar la resistencia a la corrosión. En general, las muestras tratadas a 440 °C fueron las que presentaron un mejor comportamiento a la corrosión.

**Agradecimientos:** Los autores agradecen a la Dra. Anke Dalke de la Universidad Técnica de Freiberg (Alemania), por el envío de las muestras tratadas y sus respectivas caracterizaciones y a los integrantes del GIS por la colaboración en los ensayos de niebla salina y potenciodinámicos.

### Referencias

[1] E. Dalibon, R. Charadia, A. Cabo, S.P. Brühl, Short Time Ion Nitriding of AISI 420 Martensitic Stainless Steel to Improve Wear and Corrosion Resistance, Materials Research, 2019.  
 [2] 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.  
 [3] T. Borowski, Enhancing the Corrosion Resistance of Austenitic Steel Using Active Screen Plasma Nitriding and Nitrocarburising, Materials, 2021.  
 [4] E.J. Mittemeijer, M. Somers, Thermochemical Surface Engineering of Steels: Improving Materials Performance, 2014, Woodhead Publishing.