Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (4): 1559-1565

NITRURACIÓN IÓNICA DE ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN

S. P. Brühl [1], L. S. Vaca [1*], R. Charadía [1], J. Cimetta [1], A. Cabo [2]*

- ✓ Este artículo forma parte del "Volumen Suplemento" **S1** de *la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* (*RLMM*). Los suplementos de la RLMM son números especiales de la revista dedicados a publicar memorias de congresos.
- ✓ Este suplemento constituye las memorias del congreso "*X Iberoamericano de Metalurgia y Materiales (X IBEROMET)*" celebrado en Cartagena, Colombia, del 13 al 17 de Octubre de 2008.
- ✓ La selección y arbitraje de los trabajos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*, quien nombró una comisión *ad-hoc* para este fin (véase editorial de este suplemento).
- ✓ La *RLMM* no sometió estos artículos al proceso regular de arbitraje que utiliza la revista para los números regulares de la misma.
- ✓ Se recomendó el uso de las "Instrucciones para Autores" establecidas por la *RLMM* para la elaboración de los artículos. No obstante, la revisión principal del formato de los artículos que aparecen en este suplemento fue responsabilidad del Comité Organizador del *X IBEROMET*.

Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales 2009; **S1** (4): 1559-1565

NITRURACIÓN IÓNICA DE ACEROS INOXIDABLES ENDURECIBLES POR PRECIPITACIÓN

S. P. Brühl [1], L. S. Vaca [1*], R. Charadía [1], J. Cimetta [1], A. Cabo [2]*

1: Grupo de Ingeniería de Superficies, G.I.S, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Ing. Pereira 676, E3264BTD Concepción del Uruguay, Argentina
2: IONAR S.A. Arias 3422 C1430CRB, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

** E-mail: sonia@frcu.utn.edu.ar , vacal@frcu.utn.edu.ar*

Trabajos presentados en el X CONGRESO IBEROAMERICANO DE METALURGIA Y MATERIALES IBEROMET
Cartagena de Indias (Colombia), 13 al 17 de Octubre de 2008
Selección de trabajos a cargo de los organizadores del evento

Publicado On-Line el 29-Jul-2009
Disponible en: *www.polimeros.labb.usb.ve/RLMM/home.html*

Resumen

Los aceros inoxidables endurecibles por precipitación, utilizados para moldes de inyección para plásticos corrosivos, caucho y para la industria médica y alimenticia, elevan la dureza y resistencia mecánica a valores deseables cuando son sometidos a envejecimiento.La nitruración iónica es una técnica de difusión asistida por plasma, aplicada con éxito para endurecer aceros inoxidables austeníticos sin disminuir su resistencia a la corrosión, mientras que en aceros martensíticos no ha dado tan buenos resultados aún, debido a que, en la mayoría de los casos, se afecta su resistencia a la corrosión. En este trabajo se presentan los resultados de la nitruración pulsada de aceros inoxidables endurecibles por precipitación, tales como el CORRAX® de Uddeholm y el THYROPLAST PH-X SUPRA® de ThyssenKrupp y se los comparó con los resultados obtenidos sobre AISI 420. La microestructura se estudió con microscopio óptico; la resistencia al desgaste se midió mediante ensayos de abrasión y la corrosión, en ensayos de niebla salina.Se encontró que la dureza se eleva a valores entre 900 y 1000 HV en los dos aceros luego de la nitruración iónica. Como consecuencia, la resistencia al desgaste también se incrementó en ambos aceros y se mantuvo la resistencia a la corrosión.

Palabras Claves: *aceros inoxidables, niebla salina, nitruración por plasma, desgaste.*

Abstract

Precipitation hardening stainless steels are used in injection molds for corrosive plastics or rubber, medical and food industry as well as in extrusion dies, plastics processing and engineering parts. Ion nitriding is a plasma assisted diffusion technique, which was successfully applied on austenitic stainless steel hardening without affecting its corrosion resistance. However, in the case of martensitic stainless steels, corrosion is still an issue. In this paper, the results obtained in ion nitriding of two precipitation hardening steels such as Corrax® from Uddeholm and Thyroplast PH-X SUPRA® from ThyssenKrupp are presented and compared with previous results of nitrided martensitic AISI 420. Microstructure was studied with Optical Microscopy, wear resistance was evaluated in abrasion tests and corrosion behavior, in salt spray fog tests. It was found that hardness increased after nitriding around 900-1000 HV values, and consequently, wear resistance was improved in all steels. Contrary to what happens with AISI 420 steel, corrosion resistance in both PH steels was maintained.

Keywords: *Stainless steel, salt spray fog, plasma nitriding, wear resistance*

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables endurecibles por precipitación, además de cromo y níquel, contienen otros elementos de aleación como cobre y aluminio que favorecen la precipitación de fases secundarias elevando la dureza y la resistencia mecánica cuando se los somete a envejecimiento en un rango de temperaturas entre 425°C y 600°C. Son aceros requeridos en la industria para moldes de piezas plásticas de diseño complicado, dado que pueden ser maquinados en condición de recocido y se endurecen posteriormente por envejecimiento, que al ser a bajas temperaturas, no provoca cambios dimensionales. Por otro lado, su resistencia a la corrosión suele ser superior a la de los aceros martensíticos de la serie 400.

La nitruración iónica es un tratamiento de endurecimiento de difusión termoquímica asistido por plasma, que a diferencia de su equivalente gaseoso tradicional, puede operar a temperaturas

menores y permite un control más fino de parámetros de nitruración para diseñar la estructura y composición de la superficie hasta un rango de algunas decenas de micrones [1].

Si bien la aplicación en aceros inoxidables austeníticos ha dado buenos resultados en cuanto a aumentar la resistencia al desgaste y a la corrosión [2-4], no ha ocurrido lo mismo con aceros inoxidables martensíticos de la serie 400, donde se aumenta la dureza pero se afecta la resistencia a la corrosión, debido a la precipitación de nitruros y carburos de cromo y por ende la disminución de cromo libre, que impide al material formar una capa de óxido pasivante homogénea [5-8].

En este estudio se presentan los resultados de la nitruración iónica de dos aceros inoxidables endurecibles por precipitación, CORRAX® de la marca Uddeholm y el THYROPLAST PH-X SUPRA® de la marca ThyssenKrupp, con un contenido de cromo comparable o mayor que el del AISI 420, pero con mucho menos porcentaje de carbono. Hay algunas referencias en la literatura de la nitruración de estos aceros, pero su comportamiento a la corrosión sigue aún en discusión [9-11]. Por lo tanto, se presenta un análisis acerca de si este proceso de nitruración asistido por plasma es apto para estos aceros, en cuanto a aumentar su resistencia al desgaste y preservar su resistencia a la corrosión, en comparación con resultados previos ya obtenidos por los autores, sobre AISI 420 [12,13].

2. PARTE EXPERIMENTAL

Las probetas de AISI 420, Corrax y PH-X SUPRA, cuya composición química se muestra en la Tabla 1, fueron cortadas de una barra, rectificadas y sometidas al tratamiento térmico recomendado por el fabricante, austenitización a 1020° C, temple y revenido a 400°C, 2 horas para el AISI 420, y envejecido a 530°C por dos horas para los dos aceros endurecibles por precipitación.

Posteriormente se eligió una cara para limpiar y lijar con granulometría creciente y luego pulir con pasta diamantada hasta quedar "espejo". De los dos materiales se separó un grupo de probetas que no fue nitrurado, referido en los distintos ensayos como probetas "patrón", para comparar con las nitruradas en los ensayos de desgaste y corrosión.

Tabla 1. Composición química de los aceros tratados.

Acero / % en peso	*AISI 420*	*PH-X SUPRA*	*CORRAX*
C	0,45	0,05	0,03
Cr	12,5	15,0	12,0
Mo	-	-	1,4
Mn	<1	0,45	0,3
Si	<1	0,25	0,3
Ni	-	4,5	9,2
Otros	P<0,04	Cu 3,5, Nb	Al 1%

Las probetas fueron nitruradas en un plasma DC pulsado en un equipo experimental del Grupo GIS en la UTN, cuyo esquema se encuentra en la Figura 1 y su descripción detallada está en otros trabajos publicados [13-14].

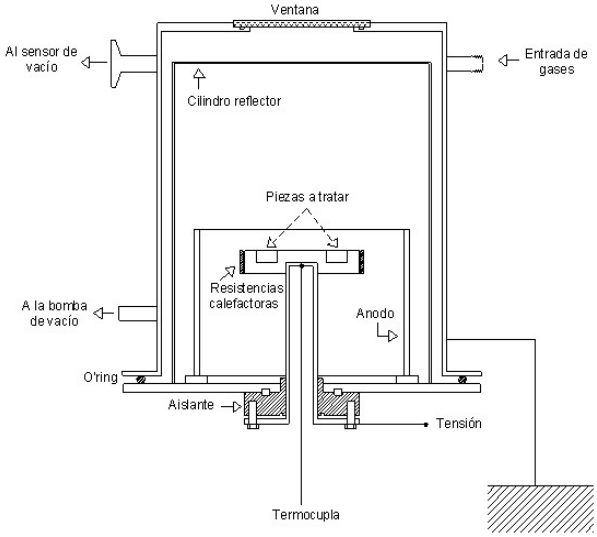


Figura 1. Equipo de nitruración iónica del Grupo GIS

La descarga eléctrica se inicia y se sostiene en una mezcla gaseosa a baja presión (10 mbar) con una tensión aplicada entre el electrodo central, negativo, donde se encuentran las piezas a nitrurar y un electrodo externo que es un cilindro de acero inoxidable que rodea al cátodo.

La nitruración iónica de AISI 420 y Corrax se realizó en este dispositivo experimental en un plasma de nitrógeno e hidrógeno (N_2 22%), durante 10 horas y a una temperatura de 360°C. Previamente a la nitruración se realizó una limpieza por "sputtering" en un plasma de argón e hidrógeno para eliminar el óxido pasivante y activar la superficie

para la difusión de nitrógeno. En las mismas condiciones, las probetas de PH-X SUPRA fueron nitruradas en el equipo industrial de la empresa IONAR SA (Buenos Aires), en un ensayo de 12 horas y a una temperatura de 390°C.

Al terminar el ensayo de nitruración, se pulieron levemente las probetas para eliminar rastros de óxido formados en el enfriamiento y se les midió dureza en superficie. Una de las probetas fue cortada e incluida en resina para observar la estructura de la capa modificada al microscopio óptico.

Otras probetas se destinaron al ensayo de desgaste abrasivo, que se realizó en una máquina de ensayos construida según Norma ASTM G65 "Dry Sand – Rubber Wheel" [15]. El sistema consta básicamente de una rueda de goma que gira a 200 ± 10 rpm. La arena de cuarzo cae a un flujo constante de 300 g/min, que se interpone entre la rueda y la probeta a ensayar produciendo el efecto abrasivo entre ambas partes. Al finalizar el ensayo, se midió la pérdida de masa de cada probeta y se realizó la relación de la pérdida de masa con la de la probeta patrón.

La resistencia a la corrosión se evaluó con dos métodos. En primer lugar se realizó una prueba de pasivación, con una gota de sulfato de cobre penta hidratado, según sugiere la norma ASTM A967-05, en la práctica "D". La deposición de cobre indica la presencia de hierro libre, por ende una falla de la capa de óxido pasivante. En segundo lugar, las probetas fueron sometidas a un ensayo de corrosión en niebla salina, en una cámara construida según la norma ASTM B117 [16]. Se utilizó una solución de NaCl al 5% y con ph 6,8, que se atomizó sobre las muestras durante 100 horas. La temperatura en la zona de las probetas se mantuvo a 32°C. Se expuso sólo una cara de las probetas, las restantes se enmascararon. Se midió la corrosión semi-cuantitativamente, indicando la presencia o no de picaduras, y el grado de afectación de la corrosión generalizada, con un método diseñado a partir de metodologías de análisis descritas en otras normas como ASTM G46, D610 y G33.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Microestructura y dureza

Tras el ensayo de nitruración, se midió la dureza en superficie de las probetas nitruradas, con indentador Vickers y una carga pequeña (0,05 kg) para no penetrar la capa nitrurada o tener influencia de la dureza del sustrato. Sobre un promedio de 10 medidas y con errores menores al 5%, se confeccionó la Tabla 2, para comparar con los valores de dureza previos a la nitruración en los tres aceros.

Tabla 2. Dureza en Vickers, HV0,05 de las probetas antes y después de la nitruración.

Material	*Dureza previa*	*Dureza posterior*
CORRAX	580	1290
PH-X SUPRA	440	1100
AISI 420	405	1160

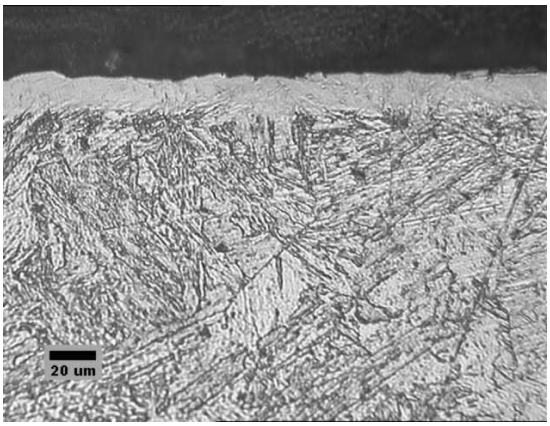
La microestructura de las capas modificadas se reveló en las probetas seccionadas e incluidas usando el reactivo de Vilella (1 g de ácido pícrico, 5 ml de HCl y 95 ml de etanol). En la Figura 2 se presentan las micrografías con 400 aumentos, donde se observan dichas capas y se detallan los espesores.

En todas las figuras se observa que la estructura del material base es de tipo martensítica y ha sido atacada con más intensidad por el reactivo, que la capa modificada, que se observa de color blanco. Vale aclarar que esta capa no es la clásica "capa blanca" de nitruros que se forma en aceros de media aleación, sino que se trata de nitrógeno en solución en una estructura martensítica, denominada α'_N, aunque no se descarta la formación de pequeños precipitados de nitruros, sobre todo γ'-FeN_4 y CrN [17].

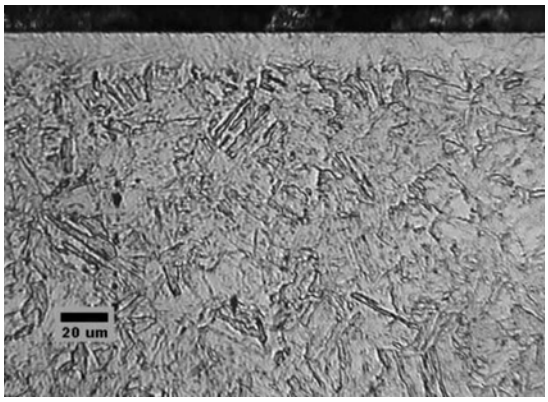
En la figuras 2 (a) y (b) se observa también que las capas modificadas de los aceros Corrax y PH-X SUPRA (endurecibles por precipitación) forman una interfase irregular y ramificada hacia el interior del material base, una estructura metalográfica que indica una excelente adherencia entre capa y material base, lo que es positivo, pues en situaciones de desgaste se minimiza el riesgo de fisuras paralelas a la superficie, observadas previamente en aceros AISI 420 nitrurados [18].

3.2 Desgaste

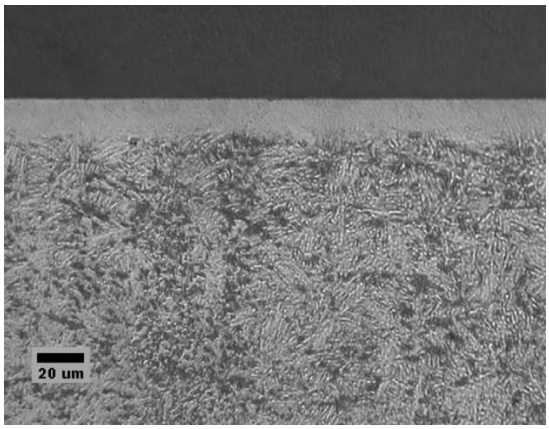
Se realizó un ensayo de desgaste abrasivo de 5 minutos de duración, con una carga normal de 10 N y con arena seca de granulometría AFS 50/70, según sugiere el procedimiento C de la norma ASTM G65. Las pérdidas de masa (Δm) sufridas por desgaste en cada probeta se midieron con una balanza de precisión de 10-4 g y se realizó el cociente entre Δm de probeta nitrurada y probeta patrón de cada material. Las pérdidas de masa relativas indican



(a)



(b)



(c)

Figura 2. Capas nitruradas en los distintos aceros. a) PH X SUPRA, de espesor 18-20 μm b) CORRAX, 12-14 μm c) AISI 420, 17-18 μm.

cuánto más resiste el material nitrurado que el material patrón, sólo con tratamiento térmico y sin nitrurar según se muestra en la Tabla 3. Las durezas de los aceros posteriormente a la nitruración son comparables y en la Tabla 3 se observa que también

Tabla 3. Resultados del ensayo de desgaste abrasivo.

Material	*Pérdida de masa relativa*
CORRAX	0,78
PH-X SUPRA	0,77
AISI 420	0,72

lo es su resistencia al desgaste, que en todos los casos, se incrementaría entre un28% y un 39% respecto a los materiales con tratamiento térmico pero sin nitrurar, si se considera que el aumento de la vida al desgaste es inversamente proporcional a la relación de pérdida de masa.

3.3 Corrosión

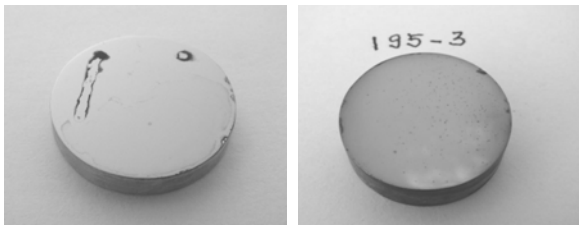
Al finalizar el ensayo de nitruración, la primera evaluación que se llevó a cabo es la de conservación de la pasividad, a través del ensayo de la gota de sulfato de cobre pentahidratado. La norma ASTM A967 sugiere que la resistencia del material sin que precipite cobre durante 6 minutos, indica que no hay expuesto hierro libre en la superficie y, por ende, la capa de óxido pasivante es bueno. Los resultados de las probetas nitruradas y sin nitrurar se presentan en la Tabla 4, e indican como positivo o negativo, la deposición o no de cobre, así como el tiempo transcurrido.

Otro grupo de probetas nitruradas y patrones se sometieron al ensayo de corrosión en cámara de niebla salina por 100 horas.

Al finalizar el ensayo y limpiar levemente con agua destilada la probeta, se fotografió la superficie y se procesó digitalmente la foto para obtener el porcentaje de la superficie afectada por corrosión general. Las fotos se muestran en la Figura 3, donde se aprecia a simple vista la diferencia entre las probetas de los distintos aceros. Luego se pulieron las muestras para eliminar los productos de corrosión y exponer los pits. Con la ayuda de la lupa y el microscopio, se obtuvieron micrografías y con el software de procesamiento de imágenes Scion Image©, se seleccionaron y contaron los pits grandes (aproximadamente 0,8 mm^2 de área, que se ven a simple vista) y los pits chicos (entre 0,1 y 0,2 mm^2 de área), que es el tamaño mínimo tenido en cuenta en la norma ASTM G46.

Tabla 4. Prueba de pasivación con la gota de sulfato de cobre pentahidratado.

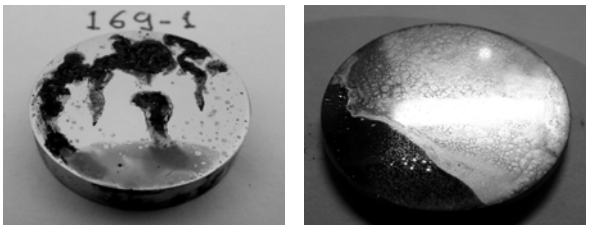
Material	*$CuSO_4.5H_2O$*	*Tiempo*
CORRAX s/nitr.	negativo	6 min
CORRAX nitr.	negativo	6 min
PH-X SUPRA s/nitr.	negativo	6 min
PH-X SUPRA nitr.	negativo	6 min
AISI 420 s/nitr.	positivo	3 min
AISI 420 nitr.	positivo	1 min



(a)



(b)



(c)

Figura 3. Análisis cualitativo del ensayo de niebla salina, a la izquierda las patrones, a la derecha las nitruradas. a) Corrax, b) PH-X Supra, c) AISI 420.

Se confeccionó una tabla con los resultados del porcentaje del área cubierta y el número de pits, que revelan la diferencia cuantitativa de comportamiento a la corrosión de los aceros endurecibles por precipitación nitrurados y el acero martensítico AISI 420 (Tabla 5).

Tabla 5. Análisis cuantitativo del ensayo de niebla salina.

Muestra	*Porcentaje de corrosión general*	*Número de Pits*
AISI 420	21,8	8
AISI 420 nitrurada	30,2	7
PH-X SUPRA	1,30	2
PH-X SUPRA nitrurada	< 1	-
CORRAX	< 1	-
CORRAX nitrurada	2	-

Es notable la diferencia a simple vista del comportamiento a la corrosión de los aceros endurecibles por precipitación en el ensayo de la cámara de niebla salina, al compararse con el acero AISI 420. En el caso del Corrax, si bien se observan pequeños pits en la superficie, no hay signos de corrosión generalizada, lo que indica que el acero nitrurado se comporta mejor en un ambiente de cloruros que el acero sin nitrurar.

Esto se podría explicar, al igual que en los aceros austeníticos nitrurados [2-3,19], por la sinergia entre cromo y nitrógeno, que resulta en un mejor coeficiente de resistencia al picado, expresado como:

$$PRE = \%Cr + 3{,}3\ \%Mo + 16\ \%N \qquad (1)$$

donde PRE son las siglas de "Pitting Resistance Equivalent", obtenido de datos experimentales que relacionan la resistencia al picado con la composición química de un acero [20].

Para lograr una capa nitrurada resistente a la corrosión es necesario que la nitruración iónica se lleve a cabo a bajas temperaturas (menores a 400°C) para asegurar la preservación del cromo en solución y evitar la formación masiva de nitruros de cromo [21].

En el caso de AISI 420, si bien se nitruró a la misma temperatura, la disminución del cromo libre comienza en el tratamiento térmico, donde se forman carburos de cromo, que precipitan en bordes de grano durante el revenido [22].

En la nitruración, también ocurre una precipitación de nitruros de cromo en los mismos sitios, entonces, si bien no se detectan al microscopio óptico, hay zonas pobres en cromo, que son sitios preferenciales

para inicio de corrosión [10]. Como los aceros endurecibles por precipitación tienen muy bajo contenido de carbono, la precipitación de carburos es mucho menor en el tratamiento térmico, y el material conserva mayor proporción de cromo en solución, incluso después de la nitruración.

4. CONCLUSIONES

La nitruración iónica de los aceros endurecibles por precipitación y del AISI 420, eleva la dureza por la formación de una capa rica en nitrógeno de entre 10 y 20 micrones, a valores superiores a 1000 HV en todos los casos. Esta dureza eleva su resistencia al desgaste en un 35% promedio, aun teniendo en cuenta que el ensayo de abrasión es relativamente agresivo por la dureza de la arena, compuesta mayoritariamente por cuarzo.

La resistencia a la corrosión después de nitrurado en el acero martensítico AISI 420 se ve disminuida, evidenciado en el experimento de pasividad de la gota de sulfato de cobre y en el ensayo de niebla salina. Sin embargo, en los caso de CORRAX y PH-X SUPRA se mantiene la resistencia a la corrosión luego del tratamiento, e incluso mejora levemente en el caso del primero.

Se demuestra entonces con este trabajo, que la nitruración iónica a bajas temperaturas (menores a 400°C) es un tratamiento eficaz para mejorar las propiedades tribológicas de los aceros endurecibles por precipitación, sin afectar su resistencia a la corrosión.

5. AGRADECIMIENTOS

Al apoyo económico de la Universidad Tecnológica Nacional y la Facultad Regional Concepción del Uruguay, así como a la Agencia Nacional de Cooperación Científica y Tecnológica (Argentina) a través del Proyecto FONTAR ANR 600 – NA 196/06.

A las empresas Fortinox Thyssen Argentina y Boehler-Uddeholm Argentina, por la donación del material que fue utilizado en este estudio.

A los becarios auxiliares de investigación del Grupo GIS-UTN, Sebastián Suárez, Juan Tijero, Heber Botto y Esteban Lanza por la colaboración prestada en los tratamientos térmicos y los ensayos de desgaste. A Eduardo González por los ensayos de niebla salina, a la Lic. Eugenia Dalibón por el análisis cuantitativo de los datos de corrosión.

6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] ASM Handbook, Vol. 5, *Surface Engineering* Ohio (EE.UU.), ASM International, 1999.

[2] Williamson DL, Wilbur PJ, Fickett FR, Parascandola S, "Role of ion beam processing time in the formation and growth of the high-nitrogen phase in austenitic stainless steel" en Bell T, Akamatsu K (eds.), Stainless Steel 2000, Maney Publ., 2001, p. 333-352.

[3] Czerwiec T, Renevier N, Michel H. *Surf. Coat. Technol.* 2000, **131**, 267-277.

[4] Menthe E, Bulak A, Olfe J, Zimmermann A, Rie KT. *Surf. Coat. Technol*. 2000, **133-134**, 259-263.

[5] Singh V, Marchev K, Cooper CV, Meletis EI. *Surf. Coat. Technol.* 2002, **160**, 249-258.

[6] Corengia P, Ybarra G, Moina C, Cabo A, Broitman E. *Surf. Coat. Technol.* 2004, **187**, 63-69.

[7] Kim SK, Yoo JS, Priest JM, Fewell MP. *Surf. Coat. Technol.* 2003, **163-164**, 380-385.

[8] Li CX, Bell T. *Corrosion Sci.* 2006, **48**, 2036-2049.

[9] Xi Y, Lin D, Han D. *Surf. Coat. Technol.* 2008, **202**, 2577-2583.

[10] Estafandiari M, Dong H. *Surf. Coat. Technol.* 2007, **202**, 466-478.

[11] Calosso F, Ernst C, Huchel U, "Low-temperature nitriding of precipitation hardened corrosion resistant tool steels". En: Proceedings del *7th Int. Tooling Conference: Tooling materials and their applications from research to market*, Turin, Italy 2-5 May 2006.

[12] Brühl SP, Charadia R, Mingolo N, Cimetta J, Guitar MA, Suárez S, Duarte M, "Nitruración de un acero inoxidable aisi 410 partiendo de diferentes tratamientos térmicos". En: Anales del *Congreso CONAMET/SAM 2004*, Santiago de Chile, 2004, p. 917-922.

[13] Brühl SP, Charadia R, Sanchez C, Staia MH. *Int. J. Mat. Res.* 2008, **7**, 779-786.

[14] Brühl SP, Charadia R, Mingolo N, *Revista Matéria*, 2005 (10), **1**, 628-634. ISSN 1517-7076. Disponible en la web: <http://www.materia.coppe.ufrj.br/sarra/artigos/artigo10383>

[15] ASTM G65-05, *Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus*, Filadelfia

(EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2005.

[16] ASTM B117-07, *Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus*, Filadelfia (EE.UU.): American Society for Testing and Materials, 2007.

[17] Dong H, Estafandiari M, Li XY. *Surf. Coat. Technol.* 2008, **202**, 2969-2975.

[18] Charadia R, Brühl SP, Vaca LS, "Obtención de una superficie inoxidable de alta dureza en acero AISI 420 mediante nitruración iónica". En: Actas del *Congreso Binacional SAM CONAMET: Jornadas MEMAT 2005*. – Mar del Plata, Argentina, 18-21 de octubre de 2005. ISBN 987-22443-0-8. Disponible en la web: <http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/biblio.htm>

[19] Brühl SP, Charadia R, Cimetta J, "Plasma nitriding of austenitic stainless steel to improve abrasion resistance". En Proceedings del *4th Meeting of the European School of Materials Science and Engineering*, Barcelona, June 7-8 2007, pp. 177-183. Ed. by Publicacions d'Abast S.L.L., Barcelona, España. ISBN-10: 84-96616-20-7.

[20] Sedriks AJ. *Corrosion of Stainless Steels,* Second Ed. New York (EE.UU): John Wiley & Sons, Inc., p. 111.

[21] Frandsen R, Christiansen Th, Somers MAJ. *Surf. Coat. Technol.* 2006, **200**, 5160.

[22] Pender G, Lucaioli AO, Iurman L, "Efecto de las temperaturas de austenización y medios de temple sobre la estructura martensítica del acero AISI 420". En: Actas del *Congreso Binacional SAM CONAMET: Jornadas MEMAT 2005*. – Mar del Plata, Argentina, 18-21 de octubre de 2005. ISBN 987-22443-0-8. Disponible en la web: http://www.materiales-sam.org.ar/sitio/biblioteca/biblio.htm