



¿LA NITRURACIÓN IÓNICA PUEDE SER UN TRATAMIENTO DE CORTA DURACIÓN? PARÁMETROS Y RESULTADOS COMPARATIVOS EN UN ACERO AISI 420

Raul Charadia⁽¹⁾, Julio Cimetta⁽¹⁾, Eugenia L. Dalibon⁽¹⁾, Sonia P. Brühl⁽¹⁾

⁽¹⁾Grupo de Ingeniería de Superficies. Facultad Regional Concepción del Uruguay, Universidad Tecnológica Nacional. Ingeniero Pereira 676, Concepción del Uruguay, Argentina.
Correo Electrónico (autor de contacto): charadia@frcu.utn.edu.ar

Palabras claves: nitruración por plasma, AISI 420, desgaste

RESUMEN

En este trabajo se presentan los resultados de microestructura y resistencia al desgaste de un acero inoxidable AISI 420 nitrurado durante 3 horas con diferentes parámetros y se comparan con los hallados en los tratamientos habituales de 10 horas.

Se midió dureza en superficie y perfil en profundidad, se analizó la microestructura, y se realizaron ensayos de desgaste tipo pin-on-disk.

En el análisis metalográfico y el perfil de dureza de las probetas tratadas con nitruración corta (3 horas), se encontró una zona modificada de espesor comparable al de las probetas tratadas 10 horas. La dureza resultó diferente según los parámetros utilizados pero todas las muestras presentaron una zona modificada por nitrógeno que permitió soportar las exigencias de los ensayos de desgaste.

Se concluye que un tratamiento de nitruración iónica de 3 horas con los parámetros adecuados, representa una opción importante para las aplicaciones industriales dado que la reducción en la duración del proceso es de vital importancia para lograr competitividad y aumento de la producción.

Keywords: plasma nitriding, AISI 420, wear

ABSTRACT

In this work, the microstructure and wear behavior of ion nitrided AISI 420 martensitic stainless steel was investigated, comparing a 3 h treatment with different parameters with a treatment of 10 h duration.

Microstructure was analyzed, surface hardness was measured and also a hardness depth profile was assessed. The wear and tribological behavior was analyzed in a pin-on-disk test.

According to the metallographic analysis and the hardness profile, it was determined that the samples treated for 3 hours developed a modified layer with a thickness comparable to that of the samples nitrided in a 10 hours process. The hardness varied using different process parameters but all samples had a nitrogen diffusion zone which provided a good wear resistance.

As a conclusion, it could be established that a 3 hours nitriding treatment with suitable parameters can be a right choice for industrial applications because a reduction in the process duration is very important to reach competitiveness and increase production.

1. INTRODUCCIÓN

Los aceros inoxidables martensíticos son aceros de uso industrial masivo donde se requieren buenas propiedades mecánicas y resistencia a la corrosión.

Para modificar las propiedades superficiales sin afectar las máscas, se pueden utilizar técnicas asistidas por plasma que consumen poca energía, no son contaminantes, ofrecen máxima seguridad operativa,

operan a baja temperatura y permiten obtener rendimientos no alcanzables por otros medios. Entre ellas puede considerarse la nitruración iónica, que es un proceso de modificación superficial que permite incrementar la dureza del acero mediante la difusión de nitrógeno en las capas superficiales, el cual queda en solución o forma compuestos dependiendo de las condiciones de proceso [1].

En el caso del acero inoxidable AISI 420 después del tratamiento térmico de temple y revenido alcanza una dureza de 500 HV aproximadamente. Posteriormente a la nitruración se forma una zona modificada que retiene su estructura martensítica pero más tensionada, llamada “martensita expandida” [2-3]. Las características y propiedades de la capa que se forma están vinculadas a los parámetros de proceso. En cuanto a la nitruración iónica de aceros inoxidables martensíticos, si bien se han realizado estudios y hay publicadas investigaciones, la información no es tan abundante como para los aceros inoxidables austeníticos donde se han realizado numerosos estudios sobre la influencia del tiempo, la temperatura, el porcentaje de gases y la presión en la microestructura, espesor y comportamiento al desgaste y a la corrosión de la capa nitrurada [4-6]. En los aceros inoxidables martensíticos se ha probado con distintas temperaturas, porcentajes de gases, densidad de corriente, tiempo de proceso. Se ha determinado que cuando la temperatura supera los 450 °C, precipitan nitruros de cromo que afectan la resistencia a la corrosión y el comportamiento al desgaste. Resultados similares se han obtenido cuando el porcentaje de nitrógeno o la densidad de corriente fueron elevados [7-10]. Para lograr una capa de un espesor considerable se requieren tiempos largos de proceso que implican una baja eficiencia de producción y un alto costo en una aplicación real [6].

En este trabajo se presentan los resultados de microestructura y comportamiento al desgaste del acero inoxidable martensítico nitrurado durante un corto período de tiempo comparándolo con el mismo acero nitrurado con el método tradicional de 10 horas.

2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El material utilizado fue acero inoxidable martensítico AISI 420, cuya composición química (porcentaje en peso) es: 0.38% C, 13% Cr, 0.44 Mn, 0.42 Si, 0.07 Mo, 0.02 P y Fe como balance. Las muestras se cortaron de una chapa de 2 mm de espesor en discos de 20 mm de diámetro.

El tratamiento térmico consistió en lo siguiente: las probetas fueron sometidas a un precalentamiento a 800°C durante 15 minutos, luego se llevaron a 1030°C durante 30 minutos, fueron templadas en aire agitado, y luego se realizaron dos revenidos a 260°C durante 2 horas.

La nitruración iónica se llevó a cabo en un reactor construido por el Grupo de Ingeniería de Superficies, en la FRCU-UTN, en el cual se establece una descarga DC pulsada en una mezcla de gases a baja presión, y la pieza a tratar actúa como electrodo negativo. Las condiciones de nitruración se describen en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de nitruración

probeta	Tiempo activo %	Frecuencia Hz	Presión mbar	Tensión Volt	Corriente mA	Temp. °C	N ₂	H ₂	Hs
C286	80	500	5	600	145	350	70	30	3
C274	50	500	4	440	115	350	70	30	3
C285	80	800	4	470	50	350	70	30	3
L278	50	500	13	480	30	350	25	75	10

Los tratamientos realizados fueron planeados buscando los parámetros de un ensayo corto de 3 horas que den resultados comparables con los obtenidos en las nitruraciones tradicionales de 10 horas.

Se midió dureza en superficie y en profundidad con un microdurómetro Shimadzu con indentador Vickers, cargas de 50 g y 25 g respectivamente. Para estudiar la microestructura, se seccionaron las probetas y se incluyeron en resina fenólica. Para revelar la microestructura se utilizó el reactivo de Vilella y se observó con microscopio óptico. Se realizaron ensayos de pin-on-disk con una carga de 5 N, radio de la huella de 7 mm y una longitud de 500 m, utilizando como contraparte una bolilla de Si₃N₄ con un diámetro 6,35 mm. Se analizó el perfil de la huella con un rugosímetro Mitutoyo actuando como perfilómetro mecánico.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Dureza

La dureza del acero AISI 420 después del templado y revenido fue de 550 HV_{0,05}. Posteriormente a la nitruración, la dureza superficial aumentó pero su valor estuvo en relación con los parámetros de proceso. El mayor valor, de 1220 HV_{0,025}, corresponde a un ensayo de corta duración, con la máxima intensidad de corriente, presión y tiempo activo para los ensayos cortos. El valor obtenido en este ensayo es comparable al que habitualmente se logra en un tratamiento tradicional de larga duración (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de la capa nitrurada

Probetas	Espesor de capa blanca (µm)	Profundidad de penetración de nitrógeno (µm)	Dureza en superficie (HV _{0,025})
C286	8,5	32,3	1220
C274	5	19,1	760
C285	-	15,6	730
L278	14,5	29,5	1100

En cuanto a la dureza en profundidad, los valores decrecen progresivamente hasta alcanzar la dureza del material base siguiendo una curva que depende fundamentalmente del potencial de nitrógeno, según la 2ª ley de Fick, dado que la temperatura en todos los ensayos es igual. En el ensayo C286, el perfil de dureza presenta una dureza superficial más alta y una profundidad de penetración mayor, pero decrece más rápidamente que el perfil del ensayo L278. Esto se debe a que las condiciones de ensayo cambiaron el potencial de nitrógeno para ocasionar diferentes condiciones de difusión como muestran los perfiles de dureza de profundidad.

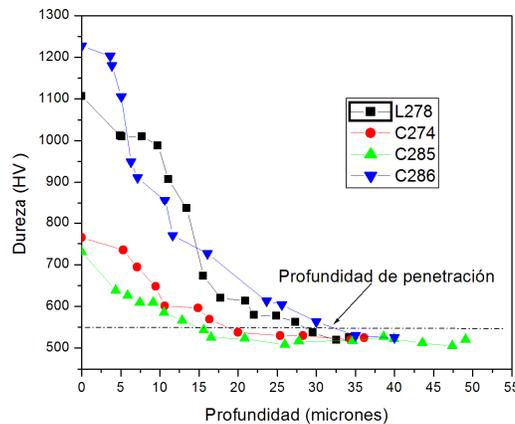


Figura 1. Perfiles de dureza en profundidad de las diferentes muestras

3.2 Microestructura

La nitruración, dependiendo del potencial de nitruración, produce una capa blanca superficial, denominada así por el color que presenta al atacarla con el reactivo de Vilella en el análisis metalográfico y corresponde a una estructura martensítica con nitrógeno en solución, llamada martensita expandida [2]. Por lo anterior, los espesores de capa en las micrografías fueron disímiles (ver Tabla 2), así como las características de las mismas. También existe una zona modificada por difusión de nitrógeno en la matriz martensítica, detectada por el aumento de dureza en profundidad, pero que no se revela en las micrografías (Figura 2). El espesor de capa de una nitruración clásica, tratamiento de 10 horas, alcanzó 14,5 µm (Figura 2a).

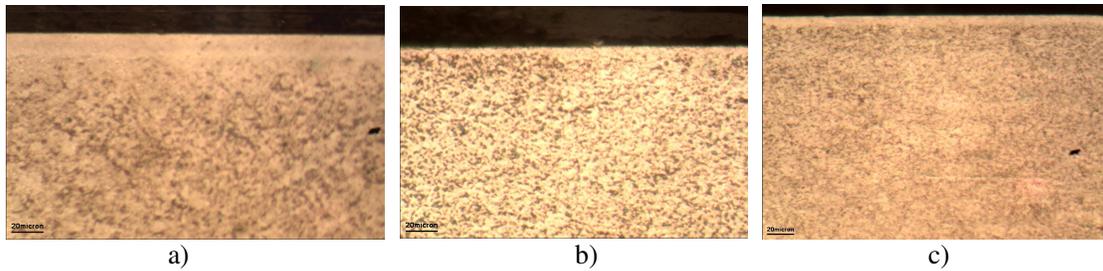


Figura 2. Micrografías de la capa nitrurada de las muestras a) L278, b) C274, c) C286.

Dentro de los procesos cortos, el mejor resultado en el espesor de capa blanca corresponde al ensayo C286 (Figura 2c), al igual que en la dureza.

Según la Tabla 2, el ensayo C285 no presentó capa blanca dado que su potencial de nitruración en tan corto tiempo fue muy bajo para presentar este tipo de estructura. En cambio, el ensayo C274 presentó una capa blanca más fina que el C286 lo que también responde a los parámetros utilizados, que generan menor potencial de nitruración (Figura 2b).

3.3 Comportamiento al desgaste

Los resultados del ensayo pin-on-disk presentaron diferencias que están vinculadas al tipo y espesor de capa nitrurada.

Tabla 3. Resultados de pin-on-disk

	L278	C274	C285	C286
Vol. de desgaste x 10⁻³ (mm³)	2,8	4,6	34,3	3,7
Prof. de desgaste (µm)	0,7	1,1	2,5	0,5
Coef. de rozamiento	0,75	0,75	0,72	0,69

Las probetas del ensayo C286 presentaron mejor resistencia al desgaste entre los ensayos cortos, con valores comparables a los obtenidos en los ensayos del tratamiento largo L278.

En el tratamiento corto C286 se generó una estructura superficial que presentó un buen comportamiento tribológico. Esto significa que es una condición de nitruración que no sólo tiene un bajo volumen de desgaste sino que presenta el menor coeficiente de fricción entre los tratamientos de nitruración, valor comparable al obtenido por el material base, para el mismo par tribológico, de valor 0,68 (Tabla 3).

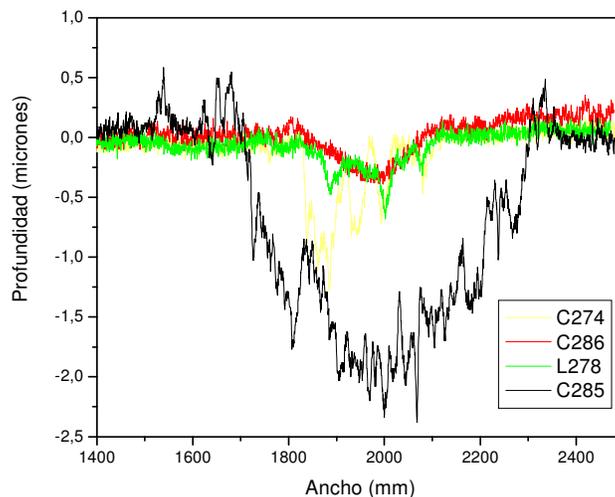


Figura 3. Perfiles de desgaste de pin on disk

Las huellas que presentan picos pronunciados en la Figura 3 son características de materiales sometidos a desgaste donde se generan desprendimientos duros que actúan como “debris” produciendo esos surcos [11]. Estas corresponden a los ensayos C274 y L278, que se caracterizaron por capas blancas, duras y frágiles. En cambio el perfil de la huella del ensayo C286 demuestra un desgaste libre de este tipo de debris, indicando que se está en presencia de una superficie más compacta y confiable en el funcionamiento al desgaste.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados expuestos, se concluye que la nitruración puede ser un tratamiento de corta duración. Se obtuvo una condición de nitruración que permitió lograr una capa modificada con resultados de dureza y comportamiento al desgaste similar a la de un tratamiento largo y en algunos aspectos mejor aún, como un coeficiente de fricción algo más bajo, un desgaste libre de debris y una profundidad de huella menor.

Para obtener este resultado fue necesario lograr un potencial de nitrógeno alto en el proceso de nitruración. Para alcanzar este potencial de nitrógeno tuvo notable influencia el tiempo activo, la intensidad de corriente y la presión.

Resta estudiar la vinculación de estos tres parámetros para determinar con mayor exactitud el potencial de nitrógeno en la nitruración iónica.

REFERENCIAS

1. T. Czerwicz, N. Renevier y H. Michel, “Low-temperature plasma-assisted nitriding”; *Surface and Coatings Technology*, Vol. 131 (2000), p. 267-277.
2. S. K. Kim, J. S. Yoo, J. M. Priest, M. P. Fewell, “Characteristics of martensitic stainless steel nitrided in a low-pressure RF plasma”; *Surface & Coatings Technology*, Vol. 163-164 (2003), p. 380-385.
3. I. Alphonsa, A. Chainani, P. M. Raole, B. Ganguli, P. I. John, “A Study martensitic stainless steel AISI 420 modified using plasma nitriding”; *Surface & Coatings Technology*, Vol. 150 (2002), p. 263-268.
4. E. Menthe, A. Bulak, J. Olfe, A. Zimmermann y K. T. Rie, “Improvement of mechanical properties of austenitic stainless steel after plasma nitriding”; *Surface & Coatings Technology*, Vol. 133-134 (2000), p. 259-263.
5. B. Larisch, U. Brusky, H.-J. Spies, “Plasma nitriding of stainless steels at low temperatures”; *Surface and Coatings Technology*, Vol. 116-119 (1999), p. 205-211.
6. S. Wang, W. Cai, J. Li, W. Wei, J. Hu, “A novel rapid D.C. plasma nitriding at low gas pressure for 304 austenitic stainless steel”; *Materials Letters*, Vol. 105 (2013), p. 47-49.
7. Y. T. Xi, D. X. Liu y D. Han, “Improvement of corrosion and wear resistances of AISI 420 martensitic stainless steel using plasma nitriding at low temperature”; *Surface & Coatings Technology*, Vol. 202 (2008), p. 2577-2583.
8. P. Corengia, G. Ybarra, C. Moina, A. Cabo y E. Broitman, “Microstructure and corrosion behavior of DC-pulsed plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel”; *Surface & Coatings Technology*, Vol.187 (2004), p. 63-69.
9. C.X. Li, T. Bell, “Corrosion properties of plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel in 3.5% NaCl and 1% HCl aqueous solutions”; *Corrosion Science*, Vol. 48 (2006), p. 2036–2049.
10. P. Corengia, F. Walther, G. Ybarra, S. Sommadossi, R. Corbari, E. Broitman, “Friction and rolling-sliding wear of DC-pulsed plasma nitrided AISI 410 martensitic stainless steel”, *Wear*, Vol. 260 (2006), p.479-485.
11. R.G. Bayer, “Wear analysis for engineers”, HNB Publishing, New York, 2002.