

Efecto de la Temperatura de Nitruración por Plasma sobre la Fricción y el Desgaste del Acero Inoxidable UNS S31803

Effect of Temperature on Plasma Nitriding in Friction and Wear UNS S31803 Stainless Steel

Díaz Carrera, Jaime¹; Angelats Silva, Luis²

^{1,2}Universidad Nacional de Trujillo, Perú

Recibido 4 de mayo 2013 — Aceptado el 18 de octubre de 2013

Resumen

En este trabajo se estudió el efecto de la temperatura de nitruración por plasma en la resistencia al desgaste por deslizamiento del acero inoxidable dúplex UNS S31803. La nitruración se realizó en un rango de temperaturas de 430–580 °C por 12 h bajo una presión de $6,5 \times 10^2$ Pa en una atmósfera de gas compuesto de 25% de N_2 y un 75% de H_2 . Los ensayos de desgaste se realizaron usando tribómetro de tipo “block on o’ring”, calculándose el desgaste a través de la pérdida de masa. Los resultados mostraron que el coeficiente de fricción y el desgaste decrecen conforme se incrementa la temperatura de nitruración. Se ha observado un incremento de la dureza y una disminución del coeficiente de fricción conforme se incrementa la temperatura de nitruración. La resistencia al desgaste de la probeta nitrurada a 580 °C es 70% más resistente que la muestra sin nitrurar y 36% más resistente que la muestra nitrurada a 530 °C.

Palabras clave: Nitruración por plasma, desgaste por deslizamiento, fricción.

Abstract

In this work, the effect of plasma nitriding temperature in the sliding wear resistance of UNS S31803 stainless steel duplex. The nitriding was conducted in a temperature ranges of 430–580 °C for 12 h under a pressure of 6.5×10^2 Pa in an atmosphere gas consisting of 25% N_2 and 75% H_2 . Wear tests were performed using type tribometer “block on o’ring” the wear calculated by the mass loss. The results showed that the coefficient of friction and wear decreases with increasing nitriding temperature. Has been observed increase in hardness and a decrease friction coefficient with increasing nitriding temperature. The wear resistance of the sample nitrided at 580 °C is 70% stronger than the sample without nitriding and 36% stronger than the sample nitrided at 530 °C.

Keywords: plasma nitriding, sliding wear, friction.

Introducción

Uno de los fenómenos considerados muy dañinos es el desgaste que sufren los componentes o elementos industriales durante el servicio (rodamientos, pernos, válvulas de presión, etc.) contribuyendo a la disminución del rendimiento de un elemento o componente a través de cambios en dimensiones, apariencia o integridad estructural.

Los principales factores involucrados en el proceso de desgaste pueden ser metalúrgicos relacionados con el servicio que prestan y otros factores como la lubricación y la corrosión (Aksoy & Karamis, 1996; Angelats Silva, 2000).

Existen diversas investigaciones con el propósito de mejorar la resistencia al desgaste mediante un tratamiento de superficie en aceros (Espíritu & Mendoza, 1999; Kliauga & Pohl, 1998). El objetivo de estos tratamientos es modificar algunas características de la superficie, tales como: reducir el coeficiente de fricción, incrementar la dureza, etc.

Correspondencia al autor:
e-mail: jaime_diazcarrera@hotmail.com

El tratamiento de superficie de nitruración por plasma (incorporación de nitrógeno en un gas iónico), viene dando mejores resultados, ya que es posible realizarlo a temperaturas menores que los procesos de tratamiento tradicionales. Esta ventaja, del tratamiento de nitruración por plasma, es aprovechada para nitrurar aceros inoxidables dúplex sin el riesgo de que se vean afectadas sus propiedades (Espíritu & Mendoza, 1999).

Sin embargo, pocos trabajos existen aún sobre la nitruración por plasma de aceros inoxidables dúplex. M. Kliauga & Pohl (1998) encontraron que los aceros inoxidables dúplex UNS S31803 y X2 CrNiMoN 22 5 3 nitrurados por plasma, mejoraron su resistencia al desgaste debido a la reducción del coeficiente de fricción. Por otro lado, Shih & Lee (1991) observaron una reducción de los potenciales de corrosión en aceros inoxidables austeníticos nitrurados por plasma. Dada la escasa información de los efectos de la temperatura de nitruración por plasma sobre el coeficiente de fricción y la resistencia al desgaste en aceros inoxidables dúplex, se ha creído conveniente realizar un tratamiento de nitruración por plasma en el rango de temperaturas de 430 – 580°C en el acero inoxidable dúplex UNS S31803 (SAF 2205) y evaluar la variación del coeficiente de fricción y la resistencia al desgaste.

Metodología

Se utilizaron probetas, cuya composición química del acero inoxidable dúplex UNS S31803, suministrada por el fabricante Avesta Sandvik Tube (AST), se muestra en la tabla 1.

Tabla 1
Composición Química (% wt) del acero UNS S31803.

Composición Química (% wt)									
C	N	Cr	Ni	Mo	Fe	Cu	Si	Mn	
.03	.2	22.0	5.5	3.5	68.6	2.5	1.8	1.5	

En la figura 1 se muestra la geometría y dimensiones de las probetas diseñadas de acuerdo a la norma ASTM G77-91. Las probetas fueron sometidas a un proceso de recocido a 1050°C durante 30 minutos y enfriadas en agua a temperatura ambiente. Posteriormente las superficies fueron desbastadas con papeles abrasivos de SiC con diferente granulometría (80 - 2500). Los procesos de nitruración se realizaron a temperaturas de 430, 480, 530 y 580°C por 10 h en atmósfera de 25%N₂ + 75%H₂ y a una presión de 6,5 × 10² Pa con un voltaje bias de 700V.

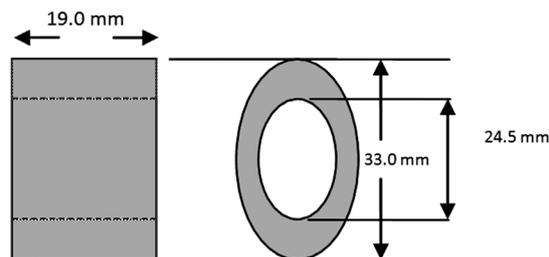


Figura 1. Geometría y dimensiones de las probetas para ensayos de desgaste

Con el fin de revelar la microestructura de las capas nitruradas, las probetas estuvieron inmersas durante 15 segundos en una solución de 20 ml de HCl, 3g de FeCl₃ y 10 ml de HNO₃ en 100 ml de agua destilada. El análisis metalográfico se hizo mediante el microscopio óptico Neophot 21. Los perfiles de la profundidad de microdureza y el espesor de la capa nitrurada fueron determinados con un microdurómetro MICROMET 2003. Los ensayos de desgaste se realizaron con tribómetro tipo “block on o’ring” diseñado y construido en el Laboratorio de Física de Materiales del Departamento Académico de Física de nuestra universidad (Figura 2). Como desbastador se usó una pastilla de tungsteno HB KO5 de 1050 HV. La fuerza normal aplicada fue de 21,95 N durante 60 min sobre la superficie de las probetas, las cuales estuvieron girando a una velocidad de 720 rpm.

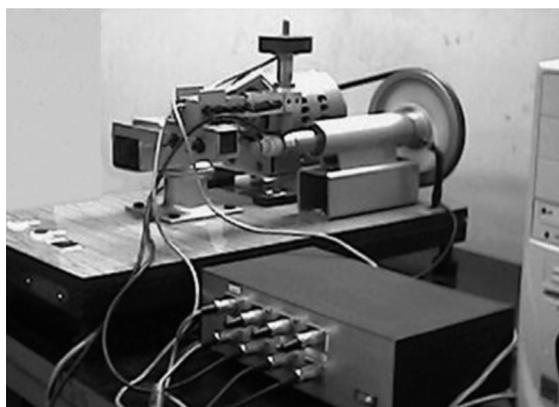


Figura 2. Máquina de desgaste

Resultados

La figura 3 muestra la microestructura de la superficie del acero inoxidable dúplex UNS S31803 sin nitrurar. Se observa una estructura bifásica típica de estos aceros, encontrándose una microdureza promedio de 297 HV_{0,025} y 272 HV_{0,025} para la fase ferrita y para la austenita respectivamente. En la figura 4 se muestra

capa nitrurada formada en la superficie del acero por efecto de la nitruración por plasma.

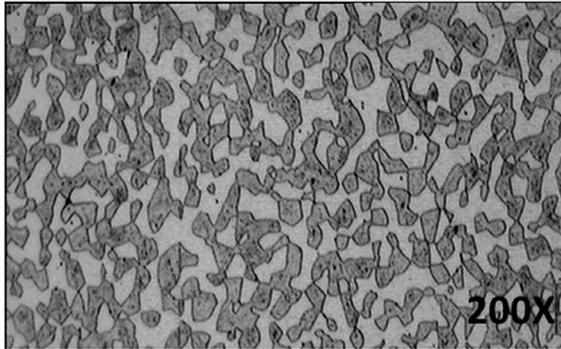


Figura 3. Microestructura del acero UNS S31803 sin nitrurar.

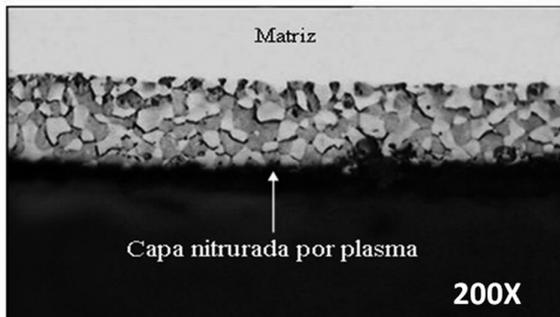


Figura 4. Microestructura de la superficie del acero UNS S31803 nitrurada por plasma a 480°C.

En la tabla 2 se indican los rangos de valores de las profundidades de la capa nitrurada medidos con el micrómetro del microdurómetro, y en la figura 5 se representan estos valores para cada temperatura, observándose que a medida que aumenta la temperatura de nitruración, aumenta el espesor de la capa nitrurada.

Tabla 2
Profundidad de capa nitrurada.

Profundidad de Capa Nitrurada (μm)		
Temperatura de nitruración ($^{\circ}\text{C}$)	(1) Medidos con micrómetro (μm)	Error Absoluto (μm)
430	11,3 – 13,6	0,49
480	29,2 – 31,7	0,53
530	39,8 – 42,6	0,66
580	65,6 – 69,4	0,87

En la figura 6 se muestra los perfiles de microdureza obtenidos de las probetas nitruradas en el rango

de temperaturas entre 430°C y 580°C. Los perfiles de microdureza muestran la presencia de una interfase abrupta entre la capa nitrurada y la matriz.

Esta fase abrupta está asociada a la precipitación de nitruros en el frente de nitruración, ya que el acero estudiado posee aproximadamente el 22% de Cr (Ver Tabla 1), y este elemento es un fuerte formador de nitruros.

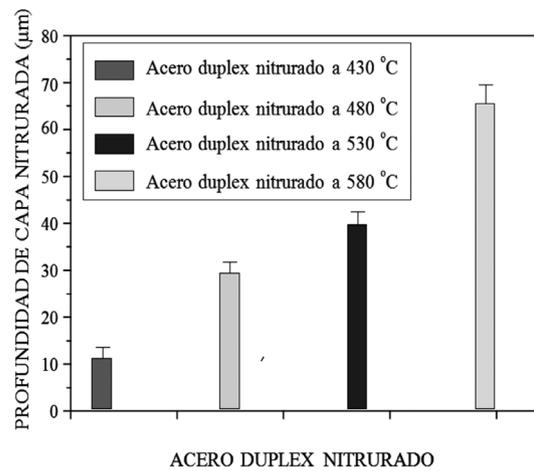


Figura 5. Profundidad de capa nitrurada versus temperatura de nitruración por plasma.

La máxima dureza alcanzada corresponde a la probeta nitrurada a 580°C seguida de la nitrurada a 530°C, en orden decreciente sigue la nitrurada a 480°C y la nitrurada a 430°C tiene la menor dureza debido al espesor de la capa nitrurada.

El hecho de que la capa nitrurada presente altos valores de dureza promedio, se debe a la posible presencia de nitruros del tipo $\gamma - (\text{Fe}, \text{Cr})_4\text{N}$ o $\epsilon - (\text{Fe}, \text{Cr})_{2-3}\text{N}$ con algunas trazas de Cr_2N (Espíritu y Mendoza 1999; Shih & Lee, 1991). Esos nitruros se forman en la capa nitrurada debido al alto contenido de Cr (22% wt) en este tipo de aceros, asociado con la intensa energía de enlace entre el N y el Cr de significativa solubilidad de N (5% wt) en la fase ϵ (Javier & Brien, 1999; Shih & Lee, 1991).

Existen algunas fases intermetálicas de carburos y una consiguiente descomposición de la ferrita en dos fases: una rica en Cr (α') y la otra (α) en hierro, este fenómeno se denomina fragilización a los 475°C dentro del rango de temperaturas otorgada por el fabricante, por lo que se espera que este fenómeno se acentúe en las muestras nitruradas a 480°C de temperatura de nitruración.

En la tabla 3 se presentan los valores promedios de la dureza de la capa nitrurada del acero dúplex en estudio obtenidos con el microdurómetro MICRO-MET 2003 y en la figura 5 se presenta los perfiles de microdureza. De dicha tabla se deduce que la mayor dureza corresponde al acero nitrurado a 580°C, sigue el acero nitrurado a 530°C, luego el acero nitrurado a 480 °C y el acero nitrurado a 430°C tiene la menor dureza.

Tabla 3
Dureza capa nitrurada en HV de acero inoxidable Dúplex a diferentes temperaturas.

Matriz	430°C	480°C	530°C	580°C
285±10	405±21	459±38	522±13	538±40

La dureza de la matriz es aproximadamente 285 HV. En la tabla 4 se muestran los coeficientes de fricción entre el acero dúplex (nitrurado y sin nitrurar) y la pastilla de desbaste (tungsteno HB 05 KO5 de 1050 HV), observándose que el mayor coeficiente de fricción corresponde al acero sin nitruración (.67) y el menor valor al acero nitrurado a 580 °C (.60).

Tabla 4
Coeficientes de fricción de acero dúplex nitrurado y no nitrurado con pastilla de carburo de tungsteno HB 05 KO5 de 1050 HV.

Matriz	430°C	480°C	530°C	580°C
.67	.64	.63	.62	.60

De la figura 5 se obtuvo la ecuación empírica de la forma:

$$Y = Ax + B$$

Donde:

A=Profundidad de capa nitrurada y temperatura de nitruración

B=Ordenada profundidad de capa resultando la ecuación (1)

$$Y = 1.76x - 6.08 \dots \quad (1)$$

Los coeficientes de fricción a las temperaturas de 430°C, 480°C y 530°C se encuentran entre estos dos valores extremos, es decir, entre .67 y .60. En la figura 6 se muestra un diagrama de barras de los coeficientes de fricción.

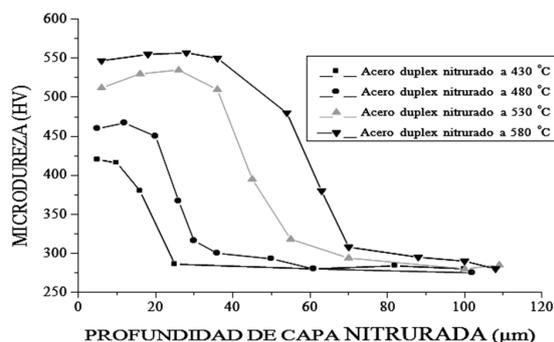


Figura 6. Perfil de microdureza del acero dúplex nitrurado por plasma a diferentes temperaturas.

Los valores de la pérdida de masa y de la pérdida de volumen calculados con la ecuación se muestran en la tabla 5 y en la figura 7 se ilustran en un diagrama de barras. La densidad del acero dúplex es 7.86 g/cm³.

Los resultados mostrados en la figura 7 y la tabla 5 indican que la probeta sin nitrurar sufre el mayor desgaste con una pérdida de masa de 119.4 mg, mientras que la probeta nitrurada a 580°C sufre el menor desgaste con 34.5 mg de pérdida de masa.

En la figura 7 también se puede observar que a medida se aumenta la temperatura de nitruración disminuye la pérdida de masa (aumenta su resistencia al desgaste adhesivo). Esto ocurre hasta un límite de temperatura dado que entre los 600 y 1000°C sufre la precipitación de fases tales como σ , $M_{23}C_6$, Z, Cr_2N , estas fases fragilizan el acero (Javier & Brien, 1992). Podemos observar además cómo al aumentar la temperatura de nitruración el coeficiente de fricción va disminuyendo, así como también la pérdida de masa. El examen de huellas de desgaste mostraron superficies rugosas en las probetas sin nitrurar y superficies suaves en las probetas nitruradas.

Tabla 5
Promedio de pérdida de masa (Δg) de acero inoxidable dúplex UNS S31803.

Acero dúplex Recocido	Aceros nitrurados por plasma			
	430°C	480°C	530°C	580°C
Δg	Δg	Δg	Δg	Δg
(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)
119.4	112.3	102.1	72.3	34.5

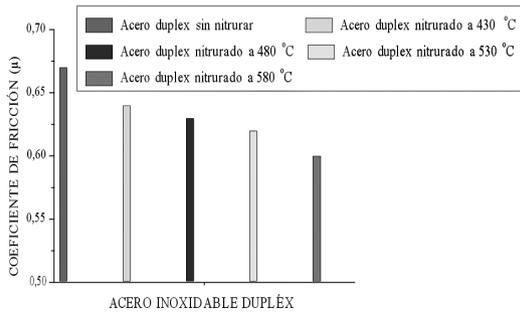


Figura 7. Diagrama en barras del coeficiente de fricción de acero inoxidable dúplex no nitrurado y nitrurado a diferentes temperaturas.

También se observó el fenómeno de delaminación de la capa nitrurada como consecuencia de la fricción. A partir de la figura 6, la ecuación empírica de la forma:

$$Y = Ax + B$$

Donde:

A=Promedio coeficiente de fricción, temperatura de nitruración

B=Ordenada del coeficiente de fricción resultando la ecuación (2):

$$Y = 0.53x - 0.67 \dots \quad (2)$$

A partir de la figura 7, se determinará la ecuación empírica de la forma:

$$Y = Ax + B$$

Donde:

A=Promedio de pérdida de masa, temperatura de nitruración

B=Ordenada del promedio de pérdida de masa resultando la ecuación (3):

$$Y = -1,05x + 140,57 \dots \quad (3)$$

De la figura 7 también se obtiene la ecuación de la pérdida de volumen.

Donde:

A=Promedio de pérdida de volumen, temperatura de nitruración

B=Ordenada del promedio de pérdida de volumen Resultando la ecuación (4):

$$Y = -0,66x + 17,22 \dots \quad (4)$$

El coeficiente de fricción se redujo y, por lo tanto, el desgaste como se puede observar disminuyó. La nitruración por plasma es una técnica empleada para disminuir el desgaste adhesivo de componentes en especial para las capas que usualmente tienen una buena adherencia al sustrato (Shih & Lee, 1991).

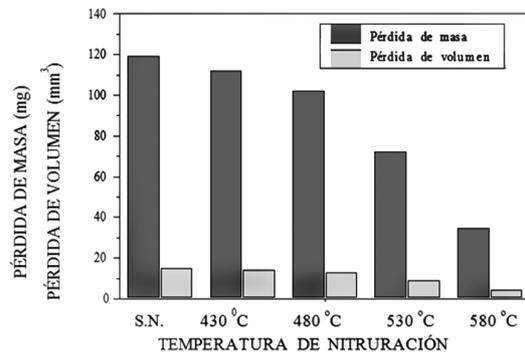


Figura 8. Pérdida de masa y volumen del acero dúplex sin nitrurar (S.N.) y nitrurado a diferentes temperaturas.

Conclusiones

De los resultados obtenidos podemos concluir:

La dureza del acero inoxidable dúplex, sometido a tratamiento de nitruración por plasma, aumenta a medida que se incrementa la temperatura de nitruración debido probablemente a la formación de nitruros.

El coeficiente de fricción entre el sustrato y el desbastador (pastilla de carburo de tungsteno) disminuye a medida que aumenta la temperatura de nitruración por plasma, incrementándose la resistencia al desgaste por deslizamiento.

El tratamiento de nitruración por plasma a 580°C aumenta en un 70 % la resistencia al desgaste del acero dúplex sin nitrurar, y en el 36 % el nitrurado a 530°C.

La capa nitrurada a 480°C al fracturarse fácilmente ante los pequeños impactos generaba pérdidas relativamente grandes de masa lo que comprueba a esta temperatura el fenómeno de “fragilización de los 475”.

REFERENCIAS

- Aksoy, M., & Karamis, M. B. (1996). Evaluation of the wear behavior of a dual – phase low – carbon steel, *Wear (Switzerland)*, Vol. 193: 248 – 252.
- Angelats Silva, L. M. (2000). *Influencia de la temperatura de nitruración por plasma en la resistencia al desgaste corrosivo del acero inoxidable duplex uns S31803 en una solución de NaCl– 5%* (Tesis MSc). Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo.
- Espíritu, H., & Mendoza, E. (1999). *Diseño e implementación de un sistema de supervisión y control de variables físicas para un proceso de fricción y desgaste por deslizamiento de los materiales*. Tesis Pregrado Ing. Electrónica. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo.
- James, M., & Brien, O. (1992), Plasma (ION) Nitriding. o Brien & Associates Dan Goodman. *Surface Hardening of Steel*, pp. 420 – 422.
- Kliauga, A. M., & Pohl M., (1998). Effect of plasma nitriding on wear and pitting corrosion resistance of X2 CrNiMoN 22 5 3 Duplex Stainless Steel. *Surface & Coatings Technology*, pp.1205-1210.
- Norma Astm G77 – (1991). *Standard test method for ranking resistace of materiales to sliding wear using block - on - ring wear test*, pp. 310, 311.
- Sarkar, A. D. 1990, *Desgaste de metales*. Edit. Limusa. México.
- Shih, H. C. & Lee, C. K. 1991, *The Corrosion wear properties of the plasma nitride sae 304 and 410 stainless steels and 4140 low alloy steel*. 7th. Conference Asia – Pacífico The corrosion Control.

Revista de Investigación Universitaria

Editora: Dra. María Vallejos Atalaya
Coeditor: Dr. Rodrigo Alfredo Matos Chamorro

Diseño y Diagramación de interior: Doris Sudario Sobrado
Corrección: Equipo de corrección EIU

Impreso en la Editorial Imprenta Unión, Centro de Aplicación de la Universidad Peruana Unión
Km 19 Carretera Central Lima – Perú
Teléfono: (01) 618-6300 Fax: (01) 618-6339

Copyright® Universidad Peruana Unión
Primera edición
Tiraje: 500 ejemplares
ISSN: 2078-4015 (versión digital)

JOB 17097-14 UNIÓN®
e-mail: prerensa@imprentaunion.com
Hecho el Depósito Legal en la Biblioteca Nacional del Perú N.º 2014-04809

Impreso en el Perú
Printed in Peru