

Tópico: S09. Tribología, superficies y desgaste - Estudiantes de grado**Estudio de la resistencia al desgaste del acero AISI 1045 nitrurado y nitrocarburado por plasma.****Matías Sebastián Regis* y Gonzalo José Schierloh****Directora: Sonia P. Brühl**

Grupo de Ingeniería de Superficies, Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional Concepción del Uruguay, Ingeniero Pereyra 676, E3264BTD Concepción del Uruguay, Argentina.

*autor de correspondencia: matiregis90@hotmail.com

ABSTRACT

Carbon steels are widely used in the manufacture of machinery components where median mechanical strength and toughness is required at low cost, because they are hardenable by heat treatment (quench and tempering), without losing machinability.

To further improve the mechanical properties and increase the wear resistance, they can be subjected to other hardening treatments such as ion nitriding and nitrocarburizing. Both techniques are plasma assisted diffusion thermochemical treatments, successfully applied for hardening steels by diffusion of nitrogen or carbon into the material.

In this work, the results of plasma nitrided and nitrocarburized AISI 1045 are presented. The surface and core hardness were measured, the microstructure was studied by optical microscopy and X-ray diffraction, and wear tests were performed in a pin-on-disk non-lubricated and lubricated machine.

In the nitrocarburized samples, the hardness was higher than the nitrided ones, and also superior hardness penetration depth was obtained. Furthermore, the nitrocarburized layer thickness was 4 times higher than the nitrided layer. However, the wear resistance in the test without lubrication, using 1 N load was better in the nitrided sample. With 2 N loads, although the difference in worn volume is less, still has a better performance the nitrided sample. In the lubricated tests, the nitrided sample showed a slight improvement (about 3%, taking into account the measurement errors) on the tribological behaviour regarding the nitrocarburized ones.

Keywords: Nitrides, nitrocarburized, hardness, wear.

RESUMEN

Los aceros al carbono son muy utilizados en la fabricación de componentes de maquinarias donde se requiere mediana resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo ya que son endurecibles mediante un tratamiento térmico de temple y revenido, sin perder maquinabilidad.

Para mejorar más aún sus propiedades mecánicas y aumentar su resistencia al desgaste, se los puede someter a diferentes tratamientos de endurecimiento superficial como son la nitruración y la nitrocarburation iónica. Ambas son técnicas de difusión asistidas por plasma, aplicadas con éxito para endurecer aceros mediante la difusión de nitrógeno, o bien carbono y nitrógeno dentro del material.

En este trabajo se presentan los resultados del AISI 1045 nitrurado y nitrocarburado por plasma. Se midió dureza superficial y en el núcleo, se analizó la microestructura por microscopía óptica y por difracción de Rayos X, y se realizaron ensayos de desgaste en una máquina pin-on-disk con y sin lubricación.

En las probetas nitrocarbadas se obtuvo una dureza algo mayor que en las nitruradas, y una profundidad de penetración también superior. Además el espesor de la capa nitrocarbada fue 4 veces mayor que la capa nitrurada. Sin embargo, la resistencia al desgaste en el ensayo sin lubricación, utilizando una carga de 1N resultó mejor en la muestra nitrurada. Al trabajar con una carga de 2 N, aunque la diferencia de volúmenes desgastados es menor, sigue presentando un mejor comportamiento la muestra nitrurada. En los ensayos lubricados, la muestra nitrurada presentó una leve mejora (aproximadamente 3%, teniendo en cuenta los errores de medición) en el comportamiento tribológico con respecto a la nitrocarbada.

Palabras Claves: nitruración, nitrocarburation, dureza, desgaste.

1. Introducción

Los aceros al carbono son muy utilizados en elementos industriales que demanden mediana resistencia mecánica y tenacidad a bajo costo. Estos tipos de aceros pueden endurecerse mediante un tratamiento térmico de temple y revenido. Una de las aleaciones más comunes es el AISI 1045 que es utilizado en engranajes, piezas forjadas para la industria

automotriz, herramientas agrícolas, etc. Para mejorar aún más sus propiedades mecánicas y aumentar la resistencia al desgaste, se los puede someter a tratamientos de endurecimiento superficial. La nitruración y nitrocarburation asistidas por plasma son técnicas que se aplican con éxito para endurecer los aceros mediante la difusión de nitrógeno y carbono dentro del material [1]. Con la aplicación de estas técnicas, se produce la formación de una capa superficial delgada, dura y resistente al desgaste conocida como "capa blanca", por encima de una zona llamada zona de

difusión. Esta capa, por lo general está constituida por nitruros γ -Fe₃N y carbonitruros ϵ -Fe_{2,3}(N, C) [2].

En este trabajo se presentan los resultados comparativos del AISI 1045 nitrurado y nitrocarburado por plasma. Para cada caso se midió dureza superficial y en el núcleo, se analizó la microestructura por microscopía óptica y Difracción de Rayos X, se realizaron ensayos de pin on disk con y sin lubricación.

2. Procedimiento experimental

Las probetas de AISI 1045 de composición química mostrada en la Tabla 1, fueron cortadas de una barra de 25 mm de diámetro con un espesor de 6 mm. Para el tratamiento térmico, se mantuvieron a una temperatura de 850 °C durante 30 minutos en una atmósfera levemente carburante, posteriormente fueron templadas en aceite y luego se realizó un revenido de 2 horas a 400 °C. Una vez realizado el tratamiento térmico, las muestras fueron rectificadas y lijadas hasta una granulometría 1000.

Los procesos de nitruración y nitrocarburation fueron realizados en la empresa IONAR S.A, con un plasma DC pulsado, en las condiciones detalladas en la Tabla 2.

Tabla 1 – Composición química acero AISI 1045.

C(%w)	Mn(%w)	Si(%w)	P _{máx.} (%w)	S _{máx.} (%w)
0,43/0,50	0,60/0,90	0,15/0,30	0,04	0,05

Tabla 2 – Condiciones de proceso.

Proceso	Porcentaje de gases [%]	Temperatura [°C]	Tiempo [hs]
Nitruración (N)	25 N ₂ + 75 H ₂	500	15
Nitrocarburation (NC)	67 N ₂ +31 H ₂ +2 C ₂ H ₂	565	8

Luego de realizar ambos procesos, se procedió a medir la dureza en superficie con un indentador Vickers con una carga de 50g sobre un promedio de 5 mediciones y con errores menores al 5%. Se cortaron e incluyeron algunas muestras para medir los espesores de capa mediante microscopía óptica y realizar los perfiles de dureza en profundidad con una carga de 25 g tomando el criterio de la Norma DIN 50 190-3 para determinar la penetración del tratamiento.

Otro grupo de muestras fueron destinadas para realizarles difracción de rayos X, con radiación K α de Cu. Para evaluar el comportamiento tribológico se realizaron ensayos de pin on disk con diferentes parámetros de radio y carga, en seco y lubricado.

3. Resultados y discusión

3.1. Dureza y microestructura

La dureza en superficie, como era de esperar fue superior a la del material sólo templado y revenido. La dureza en el núcleo en ambos casos disminuyó en forma considerable, pero en la muestra nitrocarburada se hace más notable la diferencia. Los valores de dureza se muestran en la Tabla 3.

Con las probetas incluidas se tomaron medidas de dureza a diferentes profundidades y se graficaron los perfiles, cuyos gráficos se muestran en la Figura 1. La muestra nitrocarburada presentó mayor profundidad de

penetración, aproximadamente 28% más que la nitrurada, mientras que la dureza superficial de esta última fue un 9 % mayor.

La microestructura de las capas modificadas se reveló utilizando el reactivo Nital (ácido nítrico 3%). Las fotografías de las capas tomadas con 400X de aumento son mostradas en la Figura 2, y en la leyenda se muestran los espesores.

Tabla 3 – Valores de dureza y profundidad de penetración.

Probeta	Dureza previa [HV _{0,05}]	Dureza posterior [HV _{0,05}]	Dureza en el núcleo [HV _{0,05}]	Prof. de penetración (μ m)
N	400	671	299	250
NC	400	611	255	320

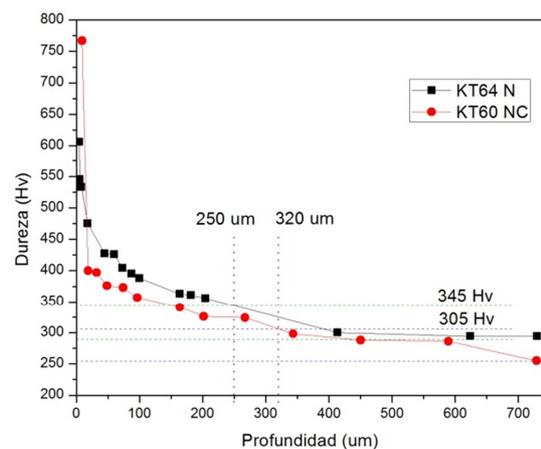


Figura 1 – Perfiles de dureza

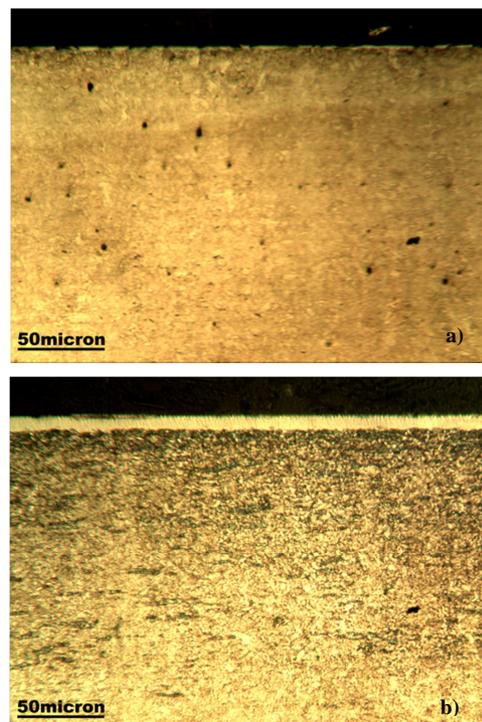


Figura 2 – Micrografías 400x: a) N, 2 μ m, b) NC, 9 μ m

A partir del análisis de difracción de rayos X, se determinó que la composición mayoritaria de la capa nitrurada son los nitruros de tipo γ' -Fe₄N, mientras que en la nitrocarburada, la capa está compuesta mayormente por carbonitruros de tipo ϵ -Fe_{2,3}(N,C). Los picos del material base (hierro alfa) en la muestra patrón solo templada y revenida son graficados junto con los anteriores, y se muestran en la Figura 3.

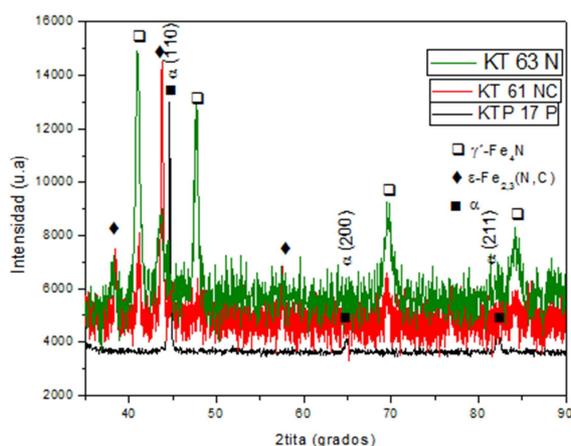


Figura 3 – DRX: N (verde), NC (rojo), y Patrón P (negro)

Si bien no se distingue en la micrografía, las capas nitrocarbadas formadas por nitruros tipo ϵ , son porosas, aproximadamente en un 20% del espesor, en la zona con más nitrógeno, cercana a la superficie. Se estima que esto es causa del desplazamiento intersticial del nitrógeno atómico de la estructura del hierro por la difusión del carbono. Esto puede causar la migración del nitrógeno hacia zonas de menor energía, como las vacancias en los bordes de grano. Al combinarse dos átomos para formar la molécula de nitrógeno es probable que esta no sea lo suficientemente estable en esa posición y escape, dejando un poro en la estructura [4,7].

3.2. Desgaste

Se llevaron a cabo ensayos de pin on disk en seco según la Norma ASTM G 99-04 con distintos parámetros de radio y carga, con una velocidad lineal constante de 10 cm/s. También se realizaron ensayos del mismo tipo, pero utilizando lubricación.

Los ensayos sin lubricación, se llevaron a cabo con los siguientes parámetros: Radio 6 mm con carga de 1N; y Radio 7 mm con carga de 2N. Los resultados de este ensayo se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4 – Resultados de los ensayos de pin on disk.

Probeta	Radio [mm] /Carga [N]	Área (μm^2)	Prof. (μm)	Vol. perd. ($\times 10^{-3} \mu\text{m}^3$)
N	6/1	649	3,7	24,5
NC	6/1	1513	6,2	57,0
P	6/1	195	1,7	7,4
N	7/2	1004	4,2	44,2
NC	7/2	1433	5,7	63,0
P	7/2	376	3,0	18,0

A continuación, se presentan los gráficos de los perfiles de las huellas comparado en las Figuras 4(a) y 4(b).

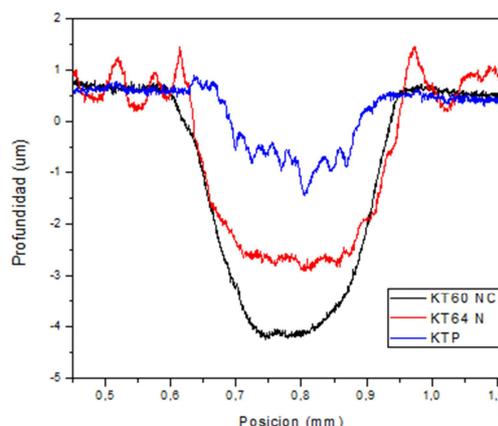


Figura 4(a) – Perfiles de Pin on disk R6 1N.

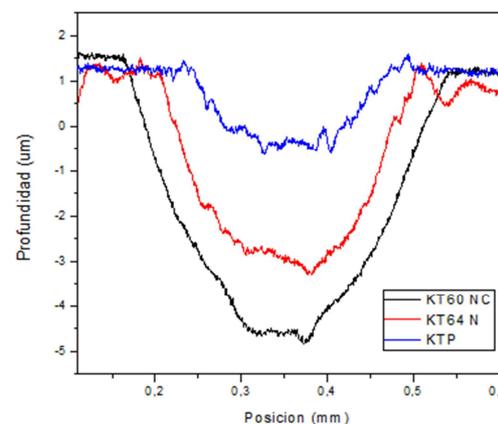


Figura 4(b) – Perfiles de Pin on disk R7 2N.

Los ensayos lubricados se llevaron a cabo en la Universidad Nacional del Sur, en la ciudad de Bahía Blanca, de los cuales no se tienen los perfiles, pero los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5 – Resultados de pin on disk con lubricación.

Probeta	Ancho [μm]	COF
NC	125,3	0,01
N	110,4	0,06
P	84,9	0,05

En los ensayos lubricados se evaluó el comportamiento al desgaste mediante el ancho de la huella y no a través del volumen perdido, como los realizados en seco, porque fue indetectable con el perfilómetro.

De acuerdo a los resultados mostrados, se puede observar que la probeta sólo templada y revenida, presenta un mejor comportamiento al desgaste, tanto en los ensayos lubricados como en los sin lubricación. Esto puede deberse a que las capas nitruradas y nitrocarbadas pueden ser frágiles y quebrarse bajo cargas puntuales, es sabido que en las capas nitrocarbadas esto se debe a la porosidad, que tiene como consecuencia

una disminución en la resistencia al desgaste [3]. Por otro lado, la fragilidad de las capas ensayadas, puede deberse a que existe una combinación de estas fases, lo que genera diferentes gradientes de dureza, sobre todo porque el sustrato perdió dureza a la temperatura en la que se realizó el tratamiento de nitruración.

Estudios anteriores dan indicios de que la fase ϵ del hierro tiene mejor comportamiento al desgaste que la fase γ' , pero siempre que sea una sola estructura [5,6].

4. Conclusión

La dureza superficial y la profundidad de penetración son datos alentadores, aunque la capa nitrurada debería ser de mayor espesor para aumentar la resistencia al desgaste.

Se deberá seguir investigando para determinar los parámetros de estos procesos asistidos por plasma para que disminuya la formación de poros en la capa blanca y haya un mejor control de la formación de nitruros y carbonitruros. De este modo se podría formar una capa densa y monofásica, que mejoraría las propiedades tribológicas del material.

Por otro lado, también se debe encontrar una solución de compromiso entre la temperatura y el tiempo de nitruración, para que favorezca la difusión de nitrógeno pero no ablande en demasía el sustrato.

Agradecimientos

Al Dr. Walter Tuckart y al Ing. Germán Prieto de la Universidad Nacional del Sur, por desarrollarlos ensayos de pink on disk lubricados.

A la UTN, Facultad Regional Concepción del Uruguay y al Consejo Interuniversitario Nacional por las becas de investigación, UTN (G. Schierloh) y EVC-CIN (M. Regis).

REFERENCIAS

- [1] D. Pye, "Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing"; 2003, ASM International.
- [2] J.C. Díaz Guillén, *Superficies y Vacío* 25(3) (2012), p. 166.
- [3] A. Celik, M. Karakan, A. Alsarar, I. Efeoglu, *Surface and Coatings Technology* 200 (2005), p. 1926-1932
- [4] S. Li, R.R. Manory, *J.Mater. Sci.* 34 (1999) 1045.
- [5] Y.H. Quing, S.R. Ge, Q.J.Xue, *J. Mater. Process. Technol.* 101 (2000) 180.
- [6] F.T Hoffmann, P. Mayr, *Nitriding and nitrocarburizing*, ASM Handbook, Vol.6, ASM International, Materials Park, Ohio, 199, p. 888.
- [7] M. Karakan, F. Bulbul, A. Celik, I. Efeoglu, *J. Mater. Sci. Lett.* 22 (2003) 1759.