



# Comparación del comportamiento al desgaste de un acero AISI 1045 nitrurado y nitrurado seguido de temple por inducción

G. J. Schierloh

UTN Fac. Reg. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

schierloh.gonzalo@gmail.com

Directores: R. Charadia, E. L. Dalibon

UTN Fac. Reg. Concepción del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.

Tópico: Metales y aleaciones

## Resumen

Lograr que las máquinas sean cada vez más eficientes y duraderas se ha convertido en un pilar fundamental de la industria metalúrgica en los últimos años. Para lograr este objetivo se necesitan materiales capaces de soportar mayores solicitaciones, en condiciones de trabajo de alta exigencia.

Uno de los materiales más utilizados para la fabricación de elementos de máquinas son los aceros de media aleación, más específicamente el acero AISI 1045, elegido por sus buenas propiedades mecánicas, bajo costo y abundante existencia en el mercado. Este acero también puede ser sometido a diferentes tratamientos para aumentar sus propiedades mecánicas, como la nitruración iónica, que utilizando técnicas de difusión asistidas por plasma obtiene muy buenos resultados. Sin embargo, es posible mejorar aún más las propiedades del acero combinando la nitruración con un tratamiento térmico posterior.

Para intentar aumentar el campo de aplicación de este acero, en este trabajo se estudió el comportamiento al desgaste del material con un tratamiento combinado de nitruración y temple por inducción.

Lo que se buscó lograr con esto es una difusión tanto de carbono como de nitrógeno en el acero, para luego endurecer la red con el temple. A su vez, debido a que en el temple se alcanza la temperatura de austenización, pierde importancia el espesor de la capa blanca ya que se disuelve.

Una vez realizado el tratamiento se procedió a la caracterización del material, para lo cual se midió la dureza en superficie y en profundidad con un microdurómetro Vickers. Se evaluó su resistencia al desgaste calculando el volumen perdido luego de someter a las probetas a ensayos de pin on disk y erosión. Por último y para tener una referencia de los resultados obtenidos, se comparó esta información con datos de muestras solamente nitruradas.

**Palabras clave:** nitruración, temple por inducción, desgaste, dureza, acero.

**Keywords:** nitriding, induction hardening, wear, hardness, steel.

## 1. Introducción

Los aceros de media aleación como el AISI 1045 son muy utilizados en la industria de la fabricación de elementos de máquinas debido a sus buenas prestaciones mecánicas y tenacidad a un costo reducido. Es posible mejorar sus propiedades superficiales mediante diferentes tratamientos como el clásico temple y revenido seguido de nitruración. La nitruración asistida por plasma es una de las técnicas que incrementa las propiedades mecánicas de los aceros mediante la difusión de nitrógeno en las capas superficiales del sustrato [1,2]. Este proceso puede llevarse a cabo a menor temperatura y en menor tiempo que las técnicas tradicionales, permitiendo un control preciso de los parámetros durante el ensayo.

Un tratamiento utilizado para mejorar las propiedades a profundidades mayores para estos aceros es el temple por inducción que normalmente se utiliza como tratamiento previo al proceso de nitruración [3]. Además este tipo de temple tiene otras ventajas como la de ser un tratamiento corto que permite un calentamiento uniforme y es posible mediante el control de la frecuencia regular la profundidad de la zona endurecida [3].

En este trabajo se estudió la posibilidad de realizar este tipo de temple posterior a la nitruración con el fin de homogeneizar la dureza en profundidad, para de esta manera mejorar la performance al desgaste.

## 2. Metodología

Las probetas de acero AISI 1045 fueron cortadas de una barra de 25 mm de diámetro y 6 mm de espesor cada una. Luego se les realizó el tratamiento de temple, para ello se las llevó a una temperatura de 850°C durante 30 minutos en una atmósfera levemente carburante y enfriado en aceite. Por otro lado el revenido se realizó a 400°C durante 2 horas.

Posterior al tratamiento térmico se procedió a realizar el rectificado y lijado de las probetas con distintas granulometrías hasta llegar a 1000. Posteriormente se realizó un tratamiento de nitruración en la empresa IONAR S.A. con un plasma DC pulsado bajo las siguientes condiciones: en una mezcla gaseosa de 25%N<sub>2</sub> y 75%H<sub>2</sub>, a 510°C durante 45 horas (muestras nitruradas, N).

También se realizó un tratamiento de temple por inducción a una frecuencia de 200 KHz con un calentamiento de 8 segundos y enfriamiento por agua a

las muestras templadas y revenidas (muestras patrones, P) y a algunas muestras nitruradas (N+I).

A todas las muestras se les midió microdureza en superficie con un indentador Vickers utilizando una carga de 50g y en profundidad con una carga de 25g. Las muestras fueron cortadas e incluidas en una matriz de resina fenólica y se utilizó Nital para atacar la superficie de las probetas y revelar la microestructura de las mismas.

El ensayo de desgaste con la Pin On Disk se realizó utilizando una bolilla de alúmina de 6 mm de diámetro, aplicando una carga de 2 N y una distancia de 500 m.

### 3. Resultados y Discusión

#### 3.1. Microestructura y Dureza

Al revelar la capa modificada utilizando el reactivo Nital se midió el espesor de la misma en las muestras N y N+I. Ambas fueron capas irregulares, los valores promedio se encuentran en la tabla 1.



Figura 1. Microestructura 400X: (a) muestra N, (b) muestra N+I.

La capa blanca resultó compacta en las probetas solo nitruradas, mientras que las que fueron templadas posteriormente adquirieron una doble capa, más ancha en conjunto. La zona de la capa más cercana a la superficie resultó porosa, esto puede deberse al efecto de descarburación que se presenta durante el temple. Al reducirse el contenido de carbono la estructura se vuelve ferrítica [4]. Dado que el temple se realiza en una atmósfera en contacto con el aire, el carbono se combina con el oxígeno volviéndose gaseoso y escapando de la estructura, dejando poros en la inmediata superficie del acero que es prácticamente ferrita nitrogenada, siendo ésta una estructura dura y frágil [4]. En la figura 1 se pueden visualizar ambas capas.

Tabla 1. Microdureza anterior y posterior al temple por inducción; espesor; coeficiente de fricción.

	Microdureza anterior (HV)	Microdureza posterior (HV)	Espesor de capa (µm)
N+I	577	650	7,9
N	577	---	5,4
P	366	280	---

Los valores de las microdurezas superficiales se detallan en la tabla 1. Como era de esperarse las probetas nitruradas y templadas fueron las más duras, seguidas de las solamente nitruradas y por último las patrones.

Fue llamativo el valor de microdureza de estas últimas, ya que no conciben con valores normales para un acero templado de este tipo. Esto se debe a que durante el proceso de temple el agua choca directamente en los bordes de las muestras y esto causó que solamente en este lugar se realice el temple, dejando el centro más blando. Las muestras nitruradas son afectadas por este fenómeno, pero como la superficie de este acero, por estar aleado con nitrógeno, tiene una velocidad crítica de temple mucho más lenta.

Se realizaron los perfiles de microdureza en profundidad en las muestras y se graficaron en la figura 2.

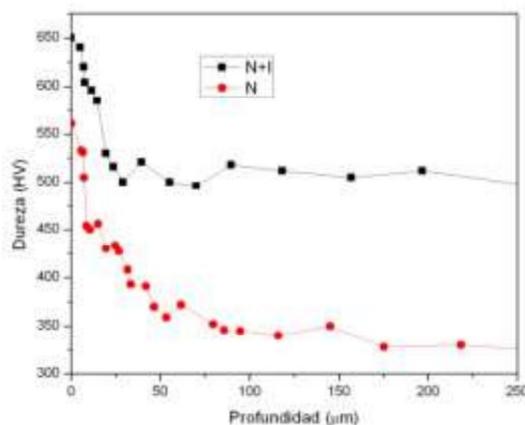


Figura 2. Perfil de microdureza.

Como se puede ver en la figura 2 el temple no solo aumentó la microdureza superficial, sino que también mejoró el perfil de dureza. En la región cercana a la superficie los valores de dureza de la muestra N+I resultan superiores a los de la muestra N. A partir de los 50 µm y hasta los 250 µm la muestra N+I presenta una microdureza prácticamente constante, 200 HV mayor que la de la muestra N.

Las condiciones de nitruración (bajo porcentaje de nitrógeno y larga duración del tratamiento) favorecieron la profunda difusión del nitrógeno en las muestras N causando un aumento de microdureza en profundidad por el nitrógeno en solución. Una mejora considerable fue observada con el tratamiento posterior de temple

debido a la formación de martensita nitrogenada durante este tratamiento térmico.

### 3.2. Desgaste

Los volúmenes de desgaste y el coeficiente de fricción se detallan en la tabla 2 donde puede observarse que las probetas con mayor volumen desgastado fueron las N+I, luego las N y las que tuvieron el mejor comportamiento al desgaste fueron las muestras P.

En la figura 3 se grafican los perfiles de las huellas de desgaste, en la cual puede notarse que la profundidad de las mismas resulta mayor en las muestras N+I.

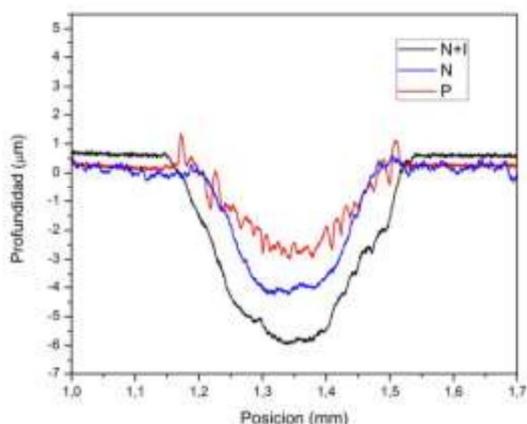


Figura 3. Perfil de las huellas.

Este comportamiento puede deberse a que la capa porosa que presentan las muestras N+I es frágil, por lo que al comenzar el ensayo de desgaste pequeños trozos de la misma se desprendieron y se convirtieron en material abrasivo (debris), causando un mayor desgaste.

Por otro lado, si se observa la tabla anterior se puede notar una relación entre el volumen desgastado y el coeficiente de fricción entre las probetas y la bolilla de alúmina (contraparte) durante el ensayo. Un menor coeficiente de fricción indicaría una menor energía de deformación y se correspondería con un menor volumen desgastado.

Tabla 2.

	Volumen desgastado ( $\cdot 10^{-3} \text{mm}^3$ )	Coefficiente de fricción
N+I	50,5	0,654
N	38	0,604
P	12,9	0,575

Como el ensayo de desgaste se realizó en la zona central, que es de menor dureza pero de mayor tenacidad en las muestras patrones como se mencionó anteriormente, el volumen desgastado resultó menor.

### 4. Conclusiones

A pesar de que los resultados en cuanto al comportamiento al desgaste se refiere no fueron los esperados, se pudieron formular hipótesis sobre qué es lo que puede estar causando este comportamiento. Con la información obtenida es posible trabajar para intentar revertir este efecto, como por ejemplo regular los parámetros del temple, como la velocidad de enfriamiento, para intentar obtener una estructura superficial de temple compacta y homogénea. Por otro lado, se consiguió mejorar notablemente el perfil de microdureza con respecto a las muestras que reciben solamente el tratamiento de nitruración.

### Agradecimientos

A IONAR S.A. por la realización del tratamiento de nitruración.

A la Dra. Sonia Brühl por su colaboración durante la realización del trabajo.

A los becarios del grupo de ingeniería de superficies por su colaboración en la realización de los ensayos.

### Referencias

- [1] D. Pye, *Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing*, ASM International, (2003).
- [2] A. C. Rovani, A. E. Crespi, V. Sonda, F. Cemin, F. G. Echeverrigaray, C. L. G. Amorim, R. L. O. Basso, I. J. R. Baumvol, C. A. Figueroa. *Surf. Coat. Technol.* **205** (2011), 3422-3428.
- [3] B. Podgornik, J. Vižintin, V. Leskovšek. *Wear* **232** (1999), 231-242.
- [4] J. Apraiz Barreiro, *Tratamientos térmicos de los aceros*, Dossat S.A., 8va. edición (1984).