

## **ESTUDIO PARA MEJORAR LA DURACIÓN DEL FILO DE CUCHILLAS PARA CORTE DE HILO Y PAPEL**

Autores: Lucas J. Da Silva, Bruno Alderete, Valentín Ronconi  
Tutora: Sonia P. Brühl.

UTN – FRCU – Grupo de Ingeniería de Superficies.  
Ing. Pereira 676 (3260) Concepción Del Uruguay, Entre Ríos, Argentina.  
Email: lucas.dasilva.utn@gmail.com

### **Resumen**

El objetivo del presente trabajo es resolver la problemática de una industria de la zona del litoral, la cual solicita aumentar la vida útil de cuchillas para corte de hilo y papel con el que empaquetan sus productos. Este bajo rendimiento se debe al alto poder abrasivo del material de trabajo.

Mediante un análisis de composición química, metalográfico y de dureza, tras un tratamiento térmico, resultó que dichas cuchillas están compuestas de dos aceros diferentes, identificados tipo AISI M2 y AISI O1.

Posteriormente, con el objetivo de aumentar el rendimiento de las piezas, y pese a verificar que el acero O1 no conserva la dureza en un revenido a 400°C, de igual modo se optó por un proceso de nitruración asistido por plasma, realizándolo en corto tiempo para evitar la capa blanca.

El análisis de laboratorio reveló que el aumento de mayor dureza se alcanzó en las probetas de tipo M2; y en el ensayo de laboratorio Pin-on-Disk, se obtuvo un aumento a la resistencia al desgaste del 54% para el material O1, mientras que para el material M2 fue del 36%. Sin embargo el M2 tratado, perdió un 23% del volumen perdido por el O1 tratado.

Por último se realizó un tratamiento de nitruración a ambas cuchillas y una prueba en planta previo a efectuar las recomendaciones finales.

### **1. Introducción**

Al momento de diseñar una cuchilla de acero, la selección del material y tratamiento es una decisión crítica. Todos los materiales presentan características ligeramente diferentes que deben tenerse en cuenta para lograr un óptimo desempeño. Algunas de ellas son evidentes, tales como la tenacidad y la resistencia al desgaste, mientras que otras demandan un análisis más complejo (Hutchings, 2001). Los aceros de herramienta utilizados usualmente para cuchillas se caracterizan por tener muy alta dureza, además de buena resistencia al desgaste y gran tenacidad.

Los filos de las cuchillas que actualmente dispone la empresa solicitante, poseen una duración promedio de 200 horas de trabajo. Luego del primer reafilado, su duración es de tan solo 150 horas.

De este modo, se propone una serie de procedimientos con el fin de obtener un material con mejores prestaciones a la solicitud. Existen distintos tratamientos capaces de mejorar las propiedades superficiales de los aceros, tales como la nitruración y la nitrocarburoción. La nitruración asistida por plasma es un tratamiento termoquímico que permite endurecer las capas superficiales del material mediante la difusión de nitrógeno [Pye, 2005]. Como resultado de este tratamiento, se forma una capa de compuestos, llamada capa blanca, seguida por una zona de difusión. La capa blanca puede ser dura y fragiliza la superficie del acero, pudiendo afectar su comportamiento al desgaste, por esta razón en determinadas aplicaciones se trata de evitar [Davis, 2002].

En este trabajo se analizaron las cuchillas utilizadas por la empresa con el objeto de proponer una solución que aumenta la duración de las mismas.

## 2. Materiales y procedimientos

### 2.1. Análisis del material

La empresa solicitante proporcionó una serie de pares de cuchillas, y al mismo tiempo, los resultados de un análisis de composición química del material de cada una de ellas.

Las cuchillas estudiadas se encuentran esquematizadas en la Fig. 1. En todo momento se trabajó con dos tipos, las cuales fueron denominadas D17 y D32, por el diámetro del agujero mayor en cada una de ellas.

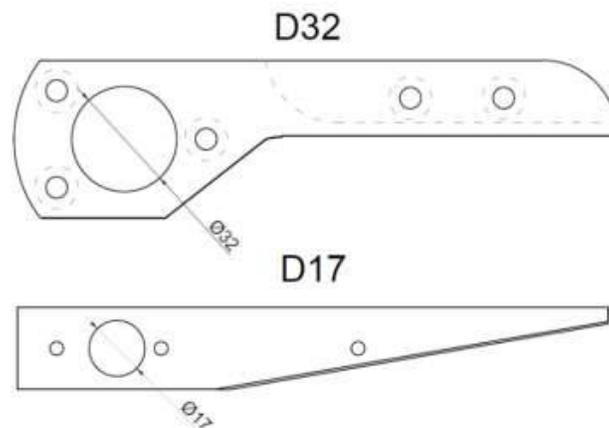


Fig. 1 Plano de las cuchillas

En primer lugar, se analizaron las hojas de composición química enviadas por la empresa. Seguidamente se midió la dureza de los materiales, utilizando un microdurómetro Shimadzu con indentador Vickers y cargas de 50g. Los resultados obtenidos se convirtieron a valor HRC (Rockwell C). Luego de estudiar los diagramas de dureza con el propósito de confirmar la naturaleza de los materiales, se realizó en un grupo de muestras, de ambas cuchillas, un revenido a 500°C por una hora.

### 2.2. Nitruración iónica

Se prepararon 3 muestras de cada material y 4 pares de probetas, 2 nuevas y 2 reafiladas. Posteriormente, se dejó sin tratar la cuchilla D32 en un par de cada caso mencionado. De esta manera, quedaron 4 grupos de cuchillas diferentes para ensayar en planta. Asimismo resultaron 6 probetas tratadas, 3 de cada material, para analizar dureza y desgaste en el laboratorio con los ensayos que se describen a continuación.

Los parámetros utilizados para la nitruración no pueden especificarse debido a las políticas de la empresa que lo realizó. Empero puede afirmarse que se eligió un proceso de nitruración asistido por plasma, realizándolo en corto tiempo para evitar la capa blanca y la fragilización.

### 2.3. Ensayo de Desgaste

Se llevó a cabo un ensayo de desgaste en condiciones de deslizamiento rotacional. Dicho ensayo se denomina Pin-On-Disk, es decir que tiene una geometría de bola sobre el plano. El plano es la probeta; y en este caso la contraparte, la bolilla, es de alúmina. Esta bolilla se carga en forma normal y se mantiene estática mientras la probeta gira. De este modo, se realizaron pruebas con cargas de 3 N, radios de 5 y 7 mm, 500 m de recorrido total.

El resultado del ensayo se expresa como volumen desgastado, luego de medir el perfil de la huella de desgaste producida por la bolilla sobre la superficie de la probeta.

## 3. Resultados

### 3.1. Caracterización del material

Del análisis de composición química provista, quedó en claro que no se trata del mismo acero. Resultó que las cuchillas D32 y D17 se encuentran dentro del grupo de aceros para herramientas y corresponden al tipo O1 y M2 respectivamente.

Diversas empresas los comercializan con otros nombres. Se seleccionó de modo ilustrativo a la empresa Böhler, la cual comercializa en Argentina; y se obtuvieron las fichas técnicas donde también se halla explicado el comportamiento del material en los tratamientos térmicos (Fig. 2). El M2 corresponde al Böhler S600 y el O1 al Böhler K460.

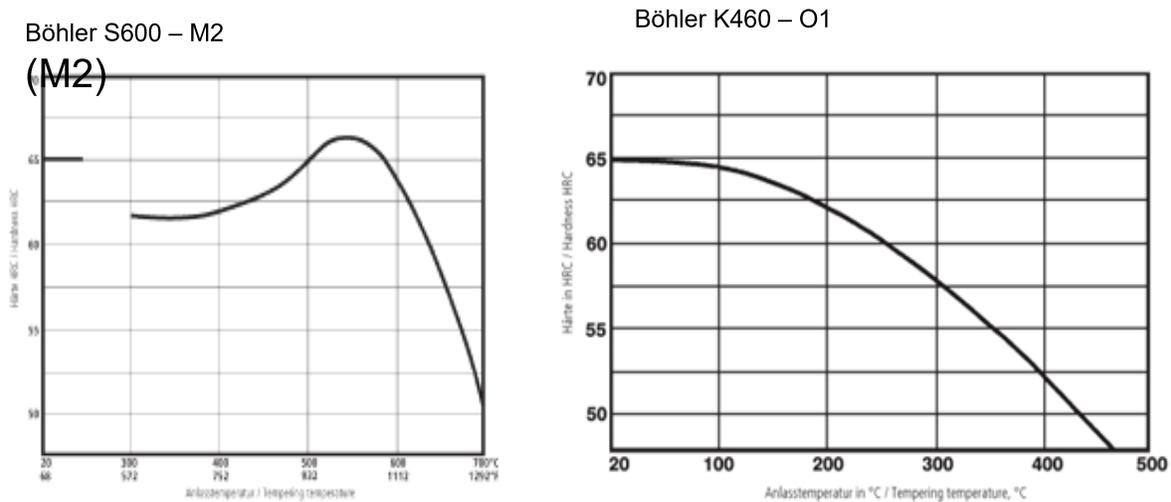


Fig. 2 Diagrama de revenidos

Luego del tratamiento térmico de revenido en el laboratorio, se midió la dureza en superficie nuevamente. Los resultados se muestran en la Fig. 3. En el gráfico puede observarse que el material de la cuchilla D32 disminuyó la dureza de 66 HRC a 45 HRC, mientras que el de la D17 la mantuvo. Por lo tanto puede inferirse que, con un alto grado de seguridad, las cuchillas D17 se encuentran construidas con acero O1 y las D17, con acero M2. Esta denominación se empleará de aquí en adelante.

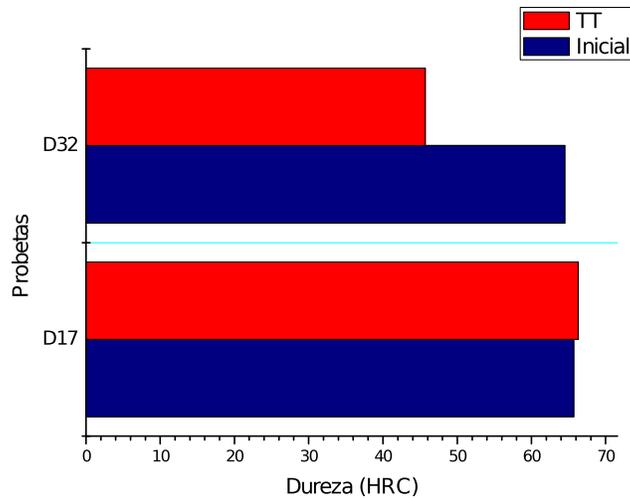


Fig. 2 Dureza inicial versus revenidas

### 3.2. Dureza después de la nitruración y ensayos de desgaste

A partir de este resultado, se diseñaron los ensayos de endurecimiento superficial. Se optó por una nitruración debido a la elevada resistencia al desgaste y dureza que proporciona, con valores de 650 a 1100 HV<sub>0,050</sub> según el material utilizado. Conforme las gráficas de revenido mostradas en la Fig. 2 se deduce que, aunque se lograra endurecer la superficie del acero O1, la dureza del material o del núcleo decaería, mientras que no generaría ningún efecto negativo sobre el acero M2.

En cada una de las probetas y en tres patrones de los materiales tratados, se realizaron ensayos de desgaste. Por "patrones" se entiende al material sin tratamiento superficial.

A continuación (Fig. 4.) se presenta el gráfico comparativo de pérdida de volumen donde se observa que, a pesar de la dureza similar, la resistencia al desgaste fue diferente entre los distintos materiales. Igualmente se verifica que el material O1 tratado mejoró su resistencia al desgaste, pese a que su dureza fuese la misma que la del otro acero. Claramente la resistencia al desgaste adhesivo es un fenómeno más complejo que la deformación plástica (medida de dureza).

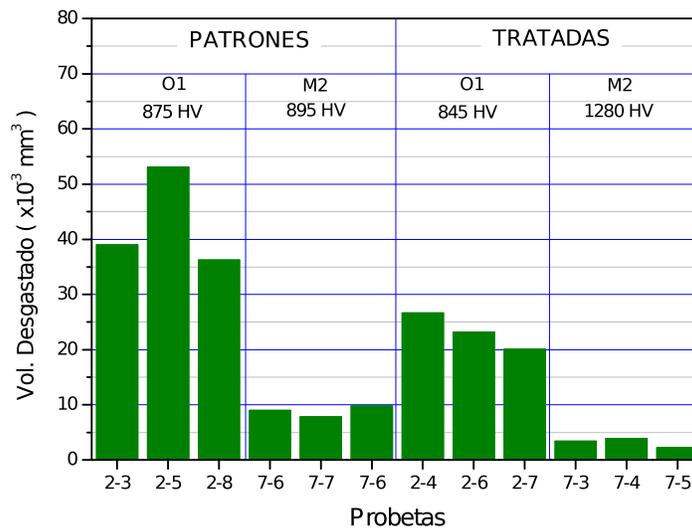


Fig. 4 Comparación de pérdida de volumen

La disminución en la pérdida de volumen del material O1 tratado (cuchilla D32) fue del 55% frente al material sin tratar; y la del acero M2 arrojó un resultado del 36% (cuchilla D17). No obstante el M2 tratado perdió un 23% del volumen total frente al O1 tratado.

### 3.3. Ensayos en planta

Se enviaron 6 pares de cuchillas a probar en planta. En la siguiente tabla (Tabla 1) se expone duración y detalles del tratamiento de los pares.

Las cuchillas en las máquinas fueron montadas de acuerdo a los parámetros de fábrica.

Tabla 1

MÁQUINA	REFERENCIA	DURACION (HS)	COMENTARIOS	TRATAMIENTO
1	JUEGO AMARILLO GIS	1	Inmediatamente luego de instalarse el juego de cuchillas, el mecánico advirtió su mal funcionamiento acerca del corte y duración.	Reafiladas y nitruradas ambas
2	JUEGO NARANJA GIS	86	Se extrae de la máquina por mal corte.	Reafilada y nitrurada, la cuchilla fija
3	JUEGO GRIS GIS	36	Ídem.	Cuchillas nuevas, nitruradas ambas
4	JUEGO VERDE GIS	50	Ídem.	Cuchillas nuevas, nitrurada la fija
5	CUCHILLA NUEVA A	65	Ídem.	Ninguno
6	CUCHILLA REAFILADA B	85	Ídem.	Ninguno

Se detectó que en el Juego Amarillo, la cuchilla fija no está plana. Esa deformación podría haberse generado durante el tratamiento. De igual modo, es posible que haya llegado al laboratorio de esa manera y nunca se verificó. Por esto, el par se descarta del análisis.

A pesar de que no hay suficiente estadística, puede extraerse información útil, no sólo de la tabla sino también de la revisión ocular y con lupa que se realizó en las cuchillas usadas.

Se observó con claridad que la cuchilla fija, del material O1, sufrió el mayor desgaste en todos los casos analizados, es decir, en las máquinas comprendidas entre la 2 y la 6. La parte móvil de la cuchilla presenta poco desgaste.

Por otro lado, es notable la falla temprana del Juego Gris dado que fueron nitruradas ambas cuchillas. En el caso de la cuchilla fija, de acero tipo O1, sufrió un endurecimiento de la superficie y disminuyó la dureza del núcleo, debido a la temperatura del tratamiento. Ese efecto no ocurre en el material tipo M2 de las cuchillas móviles. Esto se reafirma con el buen rendimiento observado en el Juego Naranja, de la máquina 2, donde sólo se nitruró la cuchilla de M2.

### 4. Conclusión y recomendaciones

En primer lugar, se logra evidenciar el uso de un acero distinto para construir cada cuchilla de un mismo par; y esto es un error, especialmente en el acero elegido para la cuchilla D32 (la fija). Un tratamiento superficial eleva la resistencia al desgaste de ambos materiales, pero en caso de elegir esta opción, es indispensable el uso del acero M2 para la construcción de ambas cuchillas.

A partir de la observación de las probetas probadas en planta y retiradas por mal corte, se verificó que en cada una de ellas, el mayor desgaste, en extensión y profundidad, se presenta en las probetas fijas, es decir las D32, construidas con el acero O1.

Con estos resultados se estima que, con las dos cuchillas construidas con M2 y luego nitruradas, la resistencia al desgaste del par se elevaría al menos el doble, en otras palabras, duraría por lo menos el doble de tiempo el flanco de corte.

Se recomendó a la empresa enviar a construir juegos de cuchillas con el mismo diseño y material que éstas: acero tipo M2, como el Böhler S600. El AISI M2 es un tipo de acero rápido, el más recomendable para cuchillas, cizallas, fresas, herramientas de corte para madera y papel, entre otras aplicaciones.

Y como para elevar aún más la resistencia al desgaste, se recomendó nitrurar mediante plasma, ambas cuchillas en la cara del flanco de corte. El tratamiento debería tener una penetración de al menos 30 micrones. La nitruración por plasma es la más adecuada para estos tipos de aceros, en comparación con la nitruración gaseosa, ya que opera a temperaturas menores que los tratamientos clásicos y permite controlar la aparición de la capa blanca que en efecto, debería evitarse en este tipo de aplicaciones dada su fragilidad.

## **Referencias**

Davis, J.R., Surface Hardening of steels. ASM International. 1ra. edición (2002).

Hutchings, I.M., Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials. Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge., 2da. edición (2001).

Pye, D., Practical Nitriding and Ferritic Nitrocarburizing. ASM International. 2da. edición (2005).