

## RENDIMIENTO DE BROCAS HELICOIDALES DE ACERO AISI M2 NITRURADAS POR PLASMA DC-PULSADO

D. Martinez Krahmer<sup>a</sup>, D. Russo<sup>a</sup>, D. Egidí<sup>a</sup>, M. G. Traverso<sup>a</sup>, P. Corengia<sup>a</sup> y A. Cabo<sup>b</sup>

<sup>a</sup> Centro de Investigación y Desarrollo en Mecánica (CEMEC), Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI), C.C. 157, (B1650WAB) San Martín, Buenos Aires, Argentina. [mkrahmer@inti.gov.ar](mailto:mkrahmer@inti.gov.ar)

<sup>b</sup> Ionar S.A., Buenos Aires, Argentina. [ionar@uolsinectis.com.ar](mailto:ionar@uolsinectis.com.ar)

### RESUMEN

En este trabajo se investigó el rendimiento de brocas helicoidales DIN 338 de acero AISI M2 tratadas por nitruración iónica, por comparación con brocas sin este tratamiento, efectuando para ese fin pruebas de duración de filo de brocas pertenecientes a ambos grupos. Se analizó también la relación existente entre algunas variables geométricas de las brocas (Angulo de punta, ángulo de incidencia y espesor de núcleo) y su rendimiento.

Las herramientas fueron nitruradas en un equipo industrial empleando una mezcla de gases compuesta por 25% N<sub>2</sub> + 75% H<sub>2</sub>, bajo una descarga DC-pulsada durante un intervalo de tiempo de 30 min.

Los ensayos de rendimiento fueron realizados mediante pruebas de desgaste por agujereado.

Los resultados obtenidos contrastadas las pruebas de rendimiento de los dos conjuntos de brocas mediante el método t-test, ponen en evidencia que las brocas de acero AISI M2 nitruradas presentan diferencias significativas en su rendimiento, perforando en promedio un número de orificios superior en un 51,5% en referencia con las brocas sin tratamiento. Además, se comprobó que para las brocas sin nitrurar existe una relación individual entre cada una de las variables geométricas estudiadas y su rendimiento.

**Palabras claves:** brocas helicoidales, acero AISI M2, ensayos de rendimiento, nitruración iónica.

### 1. INTRODUCCIÓN

Junto con el torneado, el agujereado representa una de las operaciones por arranque de viruta más importantes, comprendiendo a escala mundial alrededor del 30% de todas las operaciones empleadas en el corte de metales [1].

Como consecuencia de este liderazgo, surge la necesidad de desarrollar brocas construidas con nuevos materiales, o cuando se emplean aquellos ya existentes, producirles mejoras mediante tratamientos que modifiquen sus características superficiales.

El acero AISI M2 corresponde al segundo grupo citado, siendo el primer material con elevado rendimiento de corte utilizado para la fabricación de brocas, herramienta inventada por la "Moses Twist Drill and Machine Company" en el año 1820 en los Estados Unidos.

En la actualidad, a pesar de su limitada capacidad de corte cuando se lo compara con otros materiales usados para la fabricación de herramientas (Como el metal duro o el metal duro revestido), presenta dos ventajas muy importantes, que consisten, la primera, en ser el único que puede ser trabajado en forma económica con los procesos tradicionales de arranque de viruta como son el agujereado, torneado, fresado y rectificado, y la segunda, que se trata del material de menor costo usado para la fabricación de herramientas para arrancar viruta.

Estas razones facilitaron que no se detuvieran las investigaciones para mejorar su capacidad de corte y como resultado de las mismas durante el transcurso del siglo veinte se produjeron dos hechos tecnológicos

relevantes que promovieron un enorme avance en esa dirección: por un lado, la producción de lingotes de acero rápido empleando técnicas pulvimetalúrgicas, que garantizan una composición química, micro estructura y distribución de carburos homogénea, y por otro lado la utilización de la técnica de recubrimiento PVD para revestir las herramientas de acero rápido con nitruro de titanio, revestimiento que por su bajo coeficiente de rozamiento, pequeña conductividad térmica y elevada dureza, permitió incrementar en forma sensible las condiciones de corte (Fundamentalmente la velocidad de corte), con el consecuente aumento de la productividad, además de producir una fuerte mejora en la calidad de los orificios en términos de su acabado superficial y circularidad [1].

Por todos los motivos expuestos, el acero rápido continúa dominando el escenario entre los materiales empleados para la fabricación de herramientas de corte, superando todavía el 50% [2], y constituyendo para algunos tipos de herramientas (Brochas, creadores de engranajes), la única alternativa.

Las mejoras tecnológicas citadas aplicadas a los aceros rápidos producen, sin embargo, un aumento significativo del costo de las herramientas, propiciando el empleo de otras técnicas más económicas, como la nitruración iónica, para lograr mejoras en el rendimiento de las herramientas.

La nitruración iónica es un método termoquímico asistido por plasma ampliamente usado para, entre otros progresos, incrementar la resistencia al desgaste de aceros de baja aleación, aceros inoxidable y aceros para herramientas [3,4].

Es por ello que, ante la no existencia de antecedentes en Argentina de un trabajo que cuantifique las mejoras introducidas por este tratamiento aplicado a brocas de acero rápido, con el agregado de poder utilizar una técnica totalmente desarrollada y disponible en Argentina, y con el objetivo adicional de sentar las bases para futuros desarrollos, como ser los tratamientos superficiales dúplex de este tipo de brocas (Nitruración iónica + revestimiento de nitruro de titanio por PVD), motivaron la ejecución del presente trabajo.

Durante el mismo se estudiaron las variables geométricas que pudieran influir sobre el rendimiento de las herramientas (Ángulo de punta  $\epsilon$ , ángulo de incidencia  $\alpha$  y espesor de núcleo  $s$ ) tal como resultaron -en las brocas sometidas a los ensayos- de su proceso de fabricación natural, se realizaron pruebas comparativas de desgaste por agujereado y por análisis de regresión lineal se establecieron las relaciones existentes entre las variables geométricas analizadas y los rendimientos resultantes.

## 2. METODOLOGIA EXPERIMENTAL

### 2.1 Materiales y diseño del experimento

Una serie importante de autores [5-7] han indagado sobre que valores debieran usarse para los principales parámetros a utilizar durante la nitruración iónica, con el objeto de optimizar las características de desgaste de aceros AISI M2.

Como resultado de la conjunción de estos datos y la experiencia aportada por IONAR aplicada a la nitruración de aceros AISI M2, se adoptaron para el tratamiento de las brocas las condiciones indicadas en la Tabla I.

Tabla I

Parámetro	Valor
Tiempo de nitruración	30 min.
Voltaje entre electrodos	750 V
Densidad de corriente	1,03 mA. cm <sup>-2</sup>
Atmósfera	0,6 hPa
Temperatura	773 K
Ton - toff	70 - 200 $\mu$ s

Para realizar las pruebas de rendimiento mencionadas se emplearon brocas helicoidales comerciales del tipo DIN 338 de 6mm de diámetro construidas en acero AISI M2.

La composición química nominal del acero AISI M2 utilizado fue la siguiente (peso %): 0,85 a 1%C; 6% W; 5% Mo; 4% Cr; 2% V; Fe balance.

Los ensayos de rendimiento fueron realizados sobre una placa de acero AISI 4140 de dureza Brinell promedio HB 176 $\pm$ 10 y sus dimensiones aproximadas fueron de 410x410x50mm, debidamente escuadrada y fresada por ambos frentes.

Como paso previo a la realización de los agujeros se efectuaron centros-guía utilizando broca de centro

para que las brocas no tengan posibilidad de desviarse cuando inician el agujero.

Para la realización de las pruebas de rendimiento se emplearon 6 brocas con tratamiento y otra cantidad igual de brocas tratadas por nitruración iónica (Se seleccionaron 12 de un total de 40 empleando una tabla de números aleatorios).

Las variables geométricas de las brocas se midieron en un banco óptico de medición de brocas Dormer, las variables angulares por medio del goniómetro y el espesor de núcleo con el micrómetro incorporado.

### 2.2 Condiciones operativas de las pruebas de rendimiento

Las pruebas de duración fueron realizadas en un Centro de Mecanizado horizontal Kearney & Trecker MM200 con control Allen & Bradley.

Las condiciones de corte fueron fijadas tomando como referencia las recomendaciones del Instituto METCUT [8], y de una serie de fabricantes de brocas de acero rápido, tanto nacionales cuanto internacionales.

Para el mecanizado de los agujeros se empleó un aceite emulsionable sintético al 5%.

En la Tabla II se presentan los valores para las principales variables empleadas durante los ensayos de agujereado: diámetro de la broca D, velocidad de corte Vc, avance por vuelta A, profundidad de los orificios H, entre centro E y voladizo de la broca L respecto de la boquilla de agarre (Cada agujero de 18mm de profundidad fue mecanizado en tres etapas, descargando viruta luego de haber profundizado 6mm en cada una).

Tabla II

D (mm)	Vc (m/min)	A (mm/v)	H (mm)	E (mm)	L (mm)
6	27	0,15	18	7	58

### 2.3 Procedimiento de ensayo y resultados

#### 2.3.1 Control dimensional de las brocas

Con el objeto de correlacionar algunas de las variables geométricas de las brocas con su rendimiento, previendo su posible influencia sobre el rendimiento de las mismas, se midieron en todos los casos el ángulo de punta  $\epsilon$ , el ángulo de incidencia  $\alpha$  y el espesor de núcleo  $s$ , siguiendo las pautas establecidas por DIN 1414-1[9] y DIN 1414-2[10] (Ver Fig. 1).

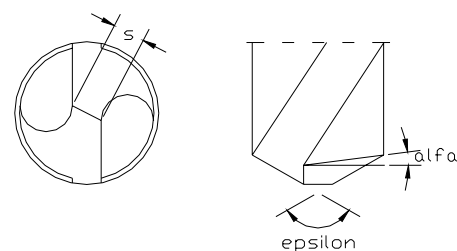


Fig. 1: Variables geométricas que pueden influir sobre el rendimiento de la broca.

En la tabla III se presentan los valores promedio medidos con sus correspondientes desviaciones estándar para el conjunto de brocas ensayadas.

Tabla III

Resultados para las mediciones de las brocas	Angulo de punta $\epsilon$ (°)	Angulo de incidencia $\alpha$ (°)	Espesor de núcleos (mm)
Promedio	120,6	14,1	1,23
Desvío estándar	$\pm 1$	$\pm 0,8$	$\pm 0,1$

**2.3.2 Pruebas de rendimiento**

Para los especialistas en herramientas de corte es un hecho conocido que cuando se emplean herramientas de acero rápido, la finalización de su vida útil puede sobrevenir en forma abrupta, casi sin previo aviso [11]. De ahí la dificultad para adoptar un criterio de interrupción de ensayo cuando se mide la evolución del desgaste de la faja de abrasión  $V_B$  en el plano de incidencia de la broca, conforme transcurre el ensayo.

Al inconveniente citado, durante pruebas exploratorias realizadas con ambos tipos de brocas, se adicionó la formación en todos los casos de filo recrecido. Como el mismo debe ser eliminado para no medir erróneamente la evolución de la faja de desgaste, y su eliminación en las brocas nitruadas provocaba el “astillamiento” del filo de corte, se adoptó como criterio de interrupción del ensayo de rendimiento la aparición de chillido constante durante el agujereado.

A modo de ejemplo, en la Fig. 2 se presenta una curva típica de desgaste obtenida por ajuste B-Spline para la broca sin nitruar que obtuvo el mejor rendimiento (175 orificios).

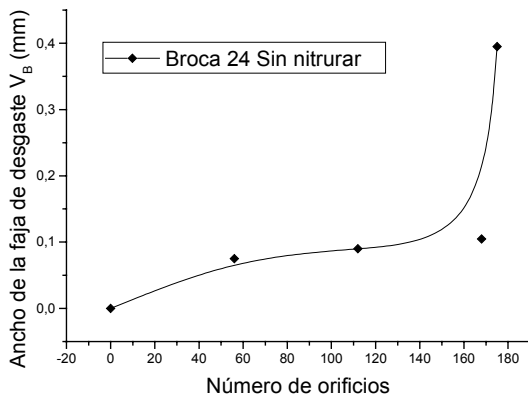


Fig. 2: Curva típica de desgaste.

El ancho de la faja de desgaste  $V_B$  fue medido a intervalos de tiempo constante, sobre ambas planos de incidencia, en correspondencia con 2/3 de la longitud de los filos cortantes a partir del centro de la broca. Se obtuvo como valor representativo del mismo, el promedio de los valores resultantes para cada uno de los dos filos de corte [12].

En la tabla IV se presentan en función del tipo de broca, el número de orificios promedio realizados, con los resultados estadísticos del t-test (Se indican por

tipo de broca: el número de orificios promedio  $Nop$ ; la desviación estándar  $\sigma$  %, la varianza  $Va$ ; el número de mediciones  $n$  y los valores  $t_0$  y  $t_{0.05,10}$ ).

Tabla IV

Tipo de broca	Nop	$\sigma$ %	Va	n	$t_0$	$t_{0.05,10}$
Sin nitruar	118,5	$\pm 38$	2044,3	6	-3,28	1,812
Nitruadas	179,5	$\pm 48$	7436,3	6		

**3. RESULTADOS**

**3.1 Evaluación dimensional**

Las brocas evaluadas cumplen los requerimientos dimensionales de DIN 1414-1 correspondientes a las tres variables analizadas.

**3.2 Pruebas de rendimiento**

Los resultados obtenidos indican no solamente un incremento promedio de un 51,5% en el número de orificios realizados por las brocas nitruadas respecto de las sin nitruar, sino que comparadas por el método estadístico t-test, las diferencias existentes entre los promedios de los orificios obtenidos por ambos tipos de brocas resultaron ser significativas.

Además, efectuadas las regresiones lineales entre cada una de las 3 variables geométricas medidas y el número de orificios realizados por cada una de las brocas, se obtuvieron valores de correlación importantes sólo para las brocas sin nitruar (Ver Figs. 3, 4 y 5).

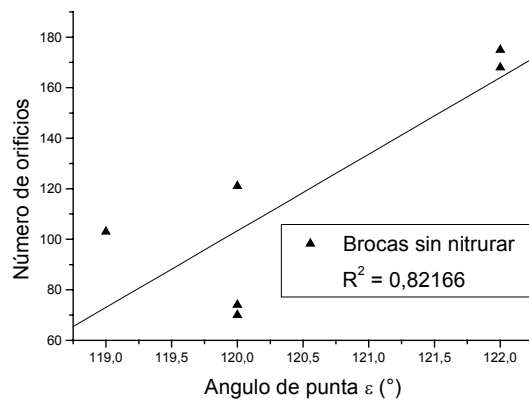


Fig. 3: N° orificios vs ángulo de punta.

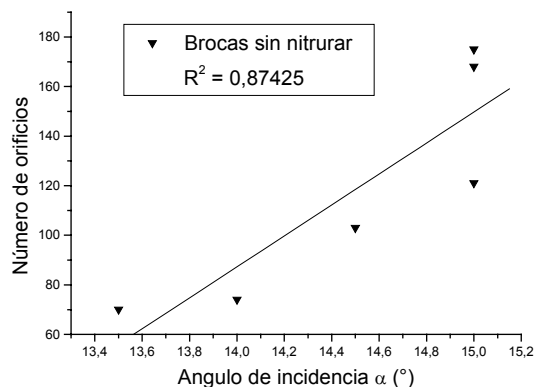


Fig. 4: N° orificios vs ángulo de incidencia.

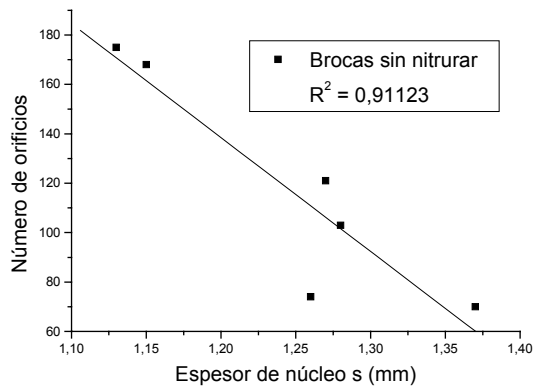


Fig. 5: N° orificios vs espesor de núcleo.

#### 4. CONCLUSIONES

Se verificó estadísticamente que la nitruración iónica produce una mejora significativa en el rendimiento de brocas tratadas con esta técnica.

En las brocas nitruradas no fue posible medir la evolución de la faja de desgaste  $V_B$ , ya que cuando se quita el filo recrecido en forma mecánica para no falsear la medición, se desprenden partes del filo cortante por su astillamiento.

Por ser la broca una herramienta rotativa, la velocidad de corte sobre el filo de la herramienta varía desde 0m/min en el centro hasta 27m/min sobre el diámetro exterior, motivo por el cual la faja de desgaste  $V_B$  debiera crecer aproximadamente en forma triangular desde el centro hacia el borde del filo. Sin embargo esta situación sólo se observó en ambos tipos de brocas, cuando las mismas alcanzaron el final de su vida útil. En todas las observaciones intermedias, el ancho de la faja fue aproximadamente constante.

Se confirmó (Ver Fig.2) tal como dice la literatura especializada [11], que el final de todas las brocas de acero rápido sobrevino en forma abrupta (En el ejemplo citado, la broca 24 pasó de tener un desgaste  $V_B$  promedio de 0,1mm en el agujero 168 a 0,4mm luego de sólo haber realizado 7 orificios adicionales).

Se comprobó mediante análisis de regresión lineal que para las brocas sin nitrurar existe una relación individual entre algunas variables geométricas (Ángulo de punta  $\epsilon$ , de incidencia  $\alpha$  y espesor de núcleo  $s$ ) y su rendimiento, en los rangos obtenidos para cada una estas variables.

La regresión lineal con mejor coeficiente de correlación para las brocas sin nitrurar correspondió a la variable geométrica espesor de núcleo  $s$ .

El rendimiento para las brocas sin nitrurar aumenta cuando aumentan el ángulo de punta  $\epsilon$  o el ángulo de incidencia  $\alpha$ , mientras que disminuye a medida que aumenta el espesor del núcleo  $s$ .

En el caso de las brocas nitruradas no se desprende ninguna relación entre las variables geométricas y el rendimiento de las mismas.

#### 5. REFERENCIAS

- [1] H.K. Tönshoff, W. Spintig, W. König and A. Neises, Machining of holes and developments in drilling technology, Annals of the CIRP, Vol. 43/2/1994, pp. 551-561.
- [2] Sandvik Coromant, "El mecanizado moderno – Manual práctico", Departamento de ediciones técnicas de Sandvik Coromant, Suecia, 1994, pp. III – 7.
- [3] B. Edenhofer, Physical and metallurgical aspects of ionitriding, Heat treatment of metals, 1 (1974), pp. 23.
- [4] T. Bell and Y. Sun, Load bearing capacity of plasma nitrided steel under rolling-sliding contact, Surface engineering, 6 (2) (1990), pp. 133.
- [5] M. Pessin., M. Tier, T. Strohaecker, A. Bloyce, Y. Sun and T. Bell, The effects of plasma nitriding process parameters on the wear characteristics of AISI M2 tool steel, Tribology letters, 8 (2000), pp. 223-228.
- [6] A. da Silva Rocha, T. Strohaecker and T. Hirsch, Effect of different surface states before plasma nitriding on properties and machining behavior of M2 high speed steel, Surface and coatings technology, 165 (2003), pp. 176-185.
- [7] A. da Silva Rocha, T. Strohaecker, V. Tomala and T. Hirsch, Microestructure and residual stresses of a plasma-nitrided M2 tool steel, Surface and coatings technology, 115 (1999), pp. 24-31.
- [8] Machinability Data Center, Machining Data Handbook, Third edition, Metcut Research Associates Inc., Cincinnati, 1980, pp. 12-71.
- [9] DIN 1414-1, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 1: Anforderungen, Juni 1998.
- [10] DIN 1414-2, Technische Lieferbedingungen für Spiralbohrer aus Schnellarbeitsstahl, Teil 2: Prüfung, Juni 1998.
- [11] D.Ferraresi, Fundamentos da usinagem dos metais, Editora Edgard Blücher Ltda., Sao Paulo, Brasil, 1995, pp. 410-422 , 439-441.
- [12] A. Bruno, Analisi dell'influenza del tipo de afilatura sull'efficienza di punte helicoidali, Consiglio Nazionale delle Ricerche, Laboratorio per la lavorazione dei metalli, Italia, 1973, pp. 13-19.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Dr. Mikel Zatarain de la Asociación de Investigación Tekniker, España.  
Este trabajo fue financiado por el Instituto Nacional de Tecnología Industrial, Argentina.