

# Influencia de la electroerosión sobre las características tribológicas de materiales compuestos WC-Co

B. Casas\*, E. Martínez\*\*, J. Esteve\*\*, M. Anglada\* y L. Llanes\*

**Resumen** En este trabajo se estudia la influencia de la electroerosión sobre la resistencia a la abrasión mediante rayado, en términos de volumen de material removido, de dos carburos cementados WC-10 % en peso de Co con diferente tamaño de carburo medio. Se evaluaron diferentes condiciones de acabado superficial correspondientes a distintos procesos de mecanizado: electroerosión y desbaste y pulido con diamante. La resistencia a la abrasión mediante rayado fue determinada utilizando un sistema de nanoindentación. A diferencia de los resultados obtenidos para mediciones de dureza, esta técnica permite discernir diferencias tribológicas significativas entre los distintos acabados evaluados. Finalmente, la degradación de la resistencia a la abrasión por efecto de la electroerosión es discutida en función de la microestructura, en términos de un parámetro de daño.

**Palabras clave** Carburos cementados. WC-Co. Electroerosión. Resistencia a la abrasión.

## Influence of electrical discharge machining on the tribological characteristics of WC-Co alloys

**Abstract** The influence of electrical discharge machining (EDM) on the abrasive wear resistance of two WC-10 %<sub>wt</sub> Co cemented carbides with different carbide grain size has been studied. Different surface finish conditions were evaluated corresponding to sequential EDM as well as grinding and polishing with diamond. The abrasive wear resistance was determined through microscratch measurements using a nanoindentation system. Contrary to the results obtained from hardness measurements, this technique allows to discern tribological differences among the distinct surface finish conditions studied. Finally, the abrasive wear resistance degradation associated with sequential EDM is discussed as a function of microstructure in terms of a damage parameter.

**Keywords** Cemented carbides. WC-Co. EDM. Abrasive wear resistance.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los carburos cementados del tipo WC-Co, convencionalmente referidos como metal duro, se caracterizan por su excelente combinación de dureza, resistencia al desgaste y resistencia mecánica. Estas propiedades han permitido su utilización en el conformado mecánico de metales, en particular de aceros y fundiciones; en operaciones de mecanizado (corte con viruta), de trefilado mediante hileras o de conformación metálica a través de matrices y punzones. Sin embargo, la fragilidad intrínseca de estos materiales y su elevada dureza dificulta su mecanización convencional y genera altos costes de fabricación por el alto desgaste de la herramienta de corte y la baja eficiencia de remoción.

Una alternativa es la técnica de electroerosión, que permite mecanizar materiales, eléctricamente conductores, a través de una serie de descargas eléctricas discontinuas entre la herramienta y la pieza de trabajo, que producen temperaturas localizadas, suficientemente altas, como para fundir o evaporar material en la región inmediata a las descargas. La ausencia de contacto físico directo evita que la pieza sea sometida a esfuerzos mecánicos, por lo que esta técnica es idónea para el conformado de materiales de elevada dureza y fragilidad como los carburos cementados. Los trabajos de Gadda y Tsai<sup>[1 y 2]</sup> son una clara indicación de los progresos alcanzados en este campo. Sin embargo, la aplicación de la electroerosión en el contorneado

(\*) Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, ETSEIB; Universidad Politécnica de Catalunya, 08028 Barcelona (España).

(\*\*) Departamento de Física Aplicada y Óptica Universitat de Barcelona, 08028 Barcelona (España).

de carburos cementados se traduce, generalmente, en la existencia de una zona afectada en la región cercana a la superficie y/o una rugosidad excesiva que puede resultar nefasta para la integridad estructural de la pieza mecanizada. Los efectos directos de los distintos parámetros de corte por electroerosión sobre la integridad de la superficie resultante y la influencia del acabado superficial sobre las propiedades mecánicas de los carburos cementados han sido ampliamente estudiados<sup>[1-7]</sup>. Sin embargo, no se han establecido correlaciones entre las propiedades tribológicas de estos materiales y los distintos acabados superficiales obtenidos por electroerosión. Considerando que los carburos cementados son sometidos a situaciones de desgaste en condiciones de servicio, resulta evidente la necesidad de un mejor conocimiento de estas relaciones. En este trabajo se estudia la resistencia a la abrasión mediante rayado en términos del volumen de material removido para dos compuestos WC-10 % en peso de Co con diferente tamaño de carburo medio y con distintos grados de acabado superficial, obtenidos a través de modificaciones en el proceso de mecanizado: utilizando diamante como medio abrasivo, y electroerosión por hilo en máquinas de altas prestaciones.

## 2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

Se utilizaron dos materiales compuestos de WC-10 % en peso de Co con diferente tamaño de carburo medio: 0,8 y 2,5  $\mu\text{m}$ , respectivamente. En ambos materiales se evaluaron seis condiciones de acabado superficial: cinco de ellas obtenidas por corte, mediante una máquina de electroerosión por hilo de altas prestaciones; mientras que la sexta condición fue obtenida por mecanizado convencional de desbaste y pulido con diamante. Se determinaron la rugosidad, la integridad superficial y la dureza resultante para cada condición estudiada. Los parámetros de rugosidad fueron evaluados utilizando un sistema de medición de textura superficial. Los cambios microestructurales fueron cuidadosamente examinados por microscopía electrónica de barrido (MEB). Las micro y macrodurezas fueron determinadas utilizando un indentador Vickers, y aplicando cargas de 9,8 y 294 N, respectivamente. Las operaciones de conformado específicas para cada condición de acabado superficial así como la nomenclatura utilizada se muestran en la tabla 1.

Se llevaron a cabo ensayos de resistencia a la abrasión mediante rayado utilizando un sistema de nanoindentación instrumentalizado, con un

**Tabla 1.** Condiciones de acabado superficial estudiadas: nomenclatura, operaciones involucradas, parámetros de rugosidad resultantes, valores de mediciones de dureza, coeficientes de fricción y parámetro de daño por electroerosión (D).

*Table 1. Surface finish conditions studied: nomenclature, involved operations, resulting roughness parameters, measured hardness, friction coefficient values ( $\mu$ ) and damage parameter (D).*

Material	Condición	Operaciones de mecanizado	Ra (mm)	Ry (mm)	HV (GPa)	Micro HV (GPa)	$\mu$	D
WC-10% Co 0,8 $\mu\text{m}$	A	Corte basto por electroerosión	3,75	20,17	948	831	0,262	0,57
	B	Corte medio por electroerosión	1,33	8,30	1.423	1.719	0,220	0,39
	C	Corte fino por electroerosión	0,41	2,84	1.572	2.416	0,254	0,36
	D	Corte microfino por electroerosión	0,11	0,88	1.483	2.076	0,118	0,15
	DP	D + chorreado + pulido con diamante	0,01	0,05	1.414	2.036	0,122	0,04
	P	Desbaste + pulido con diamante	0,01	0,07	1.550	2.158	0,090	0
WC-10% Co 2,5 $\mu\text{m}$	A	Corte basto por electroerosión	4,49	27,75	760	519	0,360	0,73
	B	Corte medio por electroerosión	0,98	6,48	1.531	1.941	0,258	0,51
	C	Corte fino por electroerosión	0,38	2,65	1.496	1.982	0,200	0,19
	D	Corte microfino por electroerosión	0,11	0,84	1.510	1.885	0,126	0,04
	DP	D + chorreado + pulido con diamante	0,01	0,09	1.442	2.120	0,144	0,06
	P	Desbaste + pulido con diamante	0,01	0,09	1.396	2.007	0,123	0

indentador esférico de diamante de  $50\ \mu\text{m}$  de radio, una longitud de rayado de  $2\ \text{mm}$  y aumentando la carga con el desplazamiento a una velocidad constante de  $32,5\ \text{mN/s}$ , hasta un máximo de  $3.000\ \text{mN}$ . De estos ensayos se obtienen valores de profundidad de penetración del indentador en función de la carga aplicada. La resistencia a la abrasión se expresa en términos del inverso del volumen de material removido durante el rayado. Este volumen se calcula como el área de penetración del indentador (función de la profundidad) por la distancia de deslizamiento en toda la longitud de rayado. El coeficiente de fricción dinámico se determinó a partir de las fuerzas normales y tangenciales medidas mediante un transductor piezoresistivo.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Integridad superficial asociada con la electroerosión

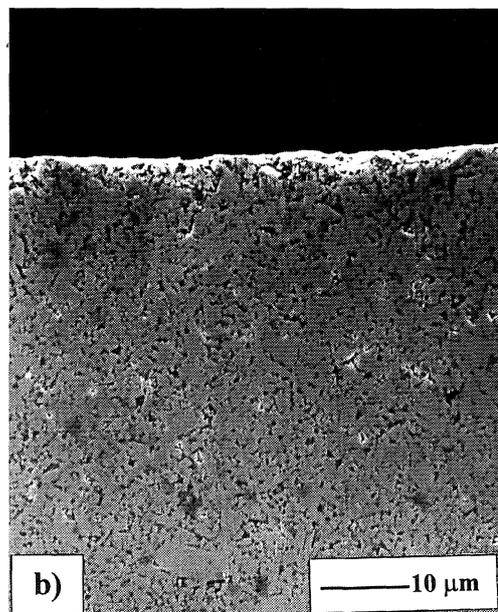
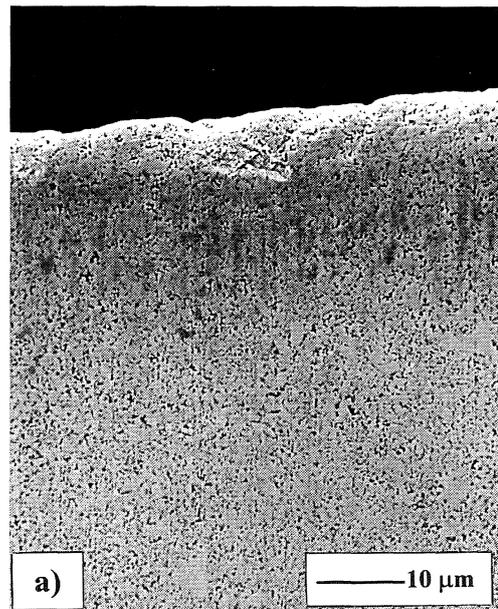
El mecanizado de carburos cementados por electroerosión propicia la formación de una capa sólida depositada sobre la superficie de la pieza de trabajo correspondiente a la fase metálica, previamente fundida o sublimada y posteriormente resolidificada. Los perfiles de las secciones transversales de las superficies correspondientes a los distintos acabados obtenidos por electroerosión para los dos materiales estudiados muestran la presencia de microfisuras radiales y longitudinales que se extienden hacia el volumen del material (por ejemplo, figura 1). La evaluación de estos perfiles muestra una disminución significativa de la longitud y densidad de estas fisuras así como del espesor de la capa depositada en la superficie, a medida que el acabado es más fino.

En la tabla I se muestran los valores de rugosidad media ( $R_a$ ) y de rugosidad máxima promedio ( $R_v$ ). A medida que el acabado por electroerosión es más fino se aprecia una disminución en ambos parámetros de rugosidad, pero valores similares al alcanzado por la condición P, sólo se obtienen a través de un chorreado y pulido posterior (acabado DP).

Bajo las condiciones experimentales estudiadas en este trabajo, se puede establecer una correlación cualitativa entre el tamaño y número de microfisuras longitudinales y los parámetros de rugosidad.

#### 3.2. Efecto de la electroerosión sobre la resistencia a la abrasión mediante rayado

Las mediciones de dureza, en término de valores medios, se muestran en la tabla I. Como es bien



**Figura 1.** Secciones transversales pulidas correspondientes a la condición C de acabado superficial de WC-10 % en peso de Co con tamaño de grano: a)  $0,8\ \mu\text{m}$ , y b)  $2,5\ \mu\text{m}$ .

*Figure 1.* Polished transverse cross sections corresponding to surface condition C for WC-10 %<sub>wf</sub> Co with grain size: a)  $0,8\ \mu\text{m}$ , and b)  $2,5\ \mu\text{m}$ .

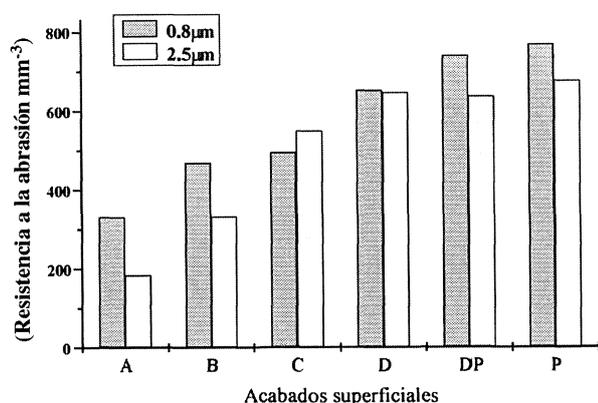
conocido, la dureza de estos materiales aumenta con la disminución del tamaño de grano [8 y 9]. Sin embargo, para cada uno de estos materiales, los valores de micro y macrodurezas indican, con un 95 % de confianza (ensayo estadístico de Levene), que los determinados para el acabado A son los únicos estadísticamente diferentes a los medidos para el resto de condiciones. Esta diferencia puede

asociarse con la presencia, en este acabado, de una capa de Cu-Zn homogéneamente depositada sobre la superficie de la pieza (espesor de 10-15  $\mu\text{m}$ ), proveniente del hilo de latón utilizado como electrodo en el mecanizado por electroerosión. Estos resultados están en concordancia con lo encontrado por Gadalla y Tsai<sup>[1]</sup>.

La influencia de la electroerosión sobre la resistencia a la abrasión mediante rayado de los carburos cementados estudiados se evaluó mediante deslizamiento unidireccional bajo incremento de carga. Los valores de resistencia a la abrasión en términos del volumen de material removido y los coeficientes de fricción para las diferentes condiciones de acabado superficial se muestran en la figura 2 y en la tabla I, respectivamente. El WC-10 % en peso de Co de grano fino es más resistente al desgaste abrasivo que el material de mayor tamaño de grano para las diferentes condiciones evaluadas. La degradación de la resistencia a la abrasión por efecto de la electroerosión puede ser expresada en términos de un parámetro de daño ( $D$ ), tomando como referencia la condición de acabado superficial obtenida por desbaste y pulido convencional (condición P), mediante la siguiente expresión:

$$D = \frac{R_p - R_{elec}}{R_p}$$

donde  $R_p$  y  $R_{elec}$  corresponden a la resistencia a la abrasión mediante rayado del acabado P y de los distintos acabados obtenidos por electroerosión (A, B, C, D y DP), respectivamente. En la tabla I se muestran los valores de  $D$  obtenidos para cada ma-



**Figura 2.** Resistencia al desgaste abrasivo en deslizamiento unidireccional para las diferentes condiciones de acabado superficial estudiadas.

Figure 2. Abrasive wear resistance in unidirectional sliding for the different surface finish conditions studied.

Rev. Metal. Madrid 37 (2001)

terial en las distintas condiciones superficiales evaluadas. Se observa una degradación significativa de la resistencia a la abrasión con la electroerosión, particularmente en las condiciones A, B y C. Para los acabados D y DP del material con mayor tamaño de grano, el parámetro de daño oscila entre 4 y 6 %, mientras que para el material de grano fino valores similares de daño sólo se obtienen para la condición DP (para el acabado D la degradación alcanza un valor de 15 %). En otras palabras, el carburo de grano fino resulta ser más sensible al daño por electroerosión (acabados finos y microfinos) que el de mayor tamaño de grano. Similares observaciones pueden hacerse al comparar los valores de coeficiente de fricción. Es evidente que los efectos de la electroerosión, en la resistencia a la abrasión, dependen fuertemente de las características microestructurales del metal duro en cuestión.

Para las condiciones de acabado superficial microfino, la electroerosión no parece tener un efecto degradante en la resistencia a la abrasión, en comparación con las operaciones convencionales de rectificado. Esto parece ser opuesto a lo observado por otros autores con respecto a la influencia de la electroerosión sobre la resistencia a la flexión en estos materiales<sup>[7]</sup>.

Los resultados obtenidos de resistencia al desgaste abrasivo permiten discernir diferencias tribológicas relativas entre los distintos acabados superficiales, mucho más significativas que las apreciadas a partir de ensayos de macro y microdurezas. Esto puede deberse a diferencias en el estado del sistema de esfuerzos en ambas técnicas (axisimétrico para indentación vs. asimétrico para el ensayo de rayado) o al volumen de material involucrado en el fenómeno de contacto, relacionado con las distintas cargas aplicadas en cada caso.

#### 4. CONCLUSIONES

- Las técnicas de medición de resistencia a la abrasión mediante rayado con carga incremental y la de medición de durezas, permiten evaluar diferencias tribológicas entre los dos materiales estudiados. Sin embargo, sólo la primera permite discernir diferencias significativas entre las distintas condiciones de acabado superficial evaluadas en cada caso.
- En los carburos cementados del tipo WC-10 % en peso de Co, la resistencia al desgaste abrasivo mediante rayado, así como los valores de dureza del material aumentan con la disminución del tamaño de grano.

- El material de WC-10 % en peso de Co de grano fino muestra una mayor sensibilidad a la degradación (parámetro de daño D) de la resistencia al desgaste abrasivo, asociada a la electroerosión, que el de mayor tamaño de grano.

### Agradecimientos

El presente estudio ha sido financiado por la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT) en el marco del proyecto MAT97-0923. Este trabajo de investigación ha sido desarrollado con la colaboración de DURIT Ibérica, Charmilles Technologies, Mecanizados Ginés, AMP Española, Plusdur y Franfil. Los autores agradecen, especialmente, la colaboración de M. Marsal en el análisis por MEB.

### REFERENCIAS

- [1] A.M. GADALLA y W. TSAI, *Mater. Manuf. Proc.* 4 (1989) 411.
- [2] A.M. GADALLA y W. TSAI, *J. Am. Ceram. Soc.* 72 (1989) 1396.
- [3] E. LENZ, E. KATZ, W. KÖNIG y R. WERTHEIM, *Ann. CIRP* 24 (1975) 109.
- [4] C.J. HEUVELMAN, *Ann. CIRP* 29 (1980) 541.
- [5] F. MAGGI, *Informe técnico AGIE SA 010.188.1 RZ*, 1991.
- [6] T. YAKOU y T. HASEGAWA, *Trans. Jpn. Soc. Mec.* 61(1995) 1192.
- [7] L. LLANES, E. IDAÑEZ, M. MARSAL, A. MATEO y M. ANGLADA, *An. Mec. Fractura* 16 (1999) 204.
- [8] J.A. BAS, *Avances en la Deformación Metálica* (1996) 120.
- [9] M. ROSSO, G. SCAVINO y G. UBERTALLI, *J. Mater. Product. Techn.* 10 (1995) 279.