

# **DISEÑO, FABRICACIÓN Y ENSAYO DE MATERIALES LAMINADOS BASADOS EN EL METAL DURO CON PROPIEDADES MECÁNICAS MEJORADAS**

**Luis M. González<sup>1,\*</sup>, Francisco J. Gotor<sup>2</sup>, Raúl Bermejo<sup>3</sup>, Luis M. Llanes<sup>4</sup>, Yadir Torres<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Departamento de Ingeniería y Ciencia de los Materiales y del Transporte, Universidad de Sevilla, Sevilla.*

<sup>2</sup> *Instituto de Ciencia de Materiales de Sevilla, CSIC-US, Sevilla.*

<sup>3</sup> *Institut für Struktur- und Funktionskeramik, Montanuniversität Leoben, Leoben.*

<sup>4</sup> *CIEFMA, Departament de Ciència i Enginyeria de Materials, EEBE, Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Spain.*

E-mail de correspondencia: [luis.gonbec@gmail.com](mailto:luis.gonbec@gmail.com)

## **Resumen**

Los metales duros (WC-Co) y cermets son materiales muy usados como materiales de herramientas. Sin embargo, los WC-Co presentan pérdidas de propiedades mecánicas a temperaturas elevadas, mientras que la fragilidad elevada de los segundos compromete su empleo en este tipo de aplicaciones. El uso de materiales con función gradiente y laminados se plantean como una potencial solución. En este trabajo se fabrican distintos tipos de diseños de laminados (WC-Co/WC-Co y Cermet/WC-Co), que permiten alcanzar los equilibrios de comportamiento tribo-mecánico y termo-mecánico deseados. En este contexto, se realiza la caracterización macroestructural (homogeneidad e integridad estructural de las capas) y microestructural (composición química, análisis de fases, fenómenos de difusión en las intercaras). La caracterización mecánica incluye la resistencia a flexión y la tenacidad de fractura, así como la resistencia al rayado. Los resultados se discuten en el marco de la mecánica de la fractura elástica lineal, los mecanismos de aumento de tenacidad (desvío y bifurcación de las grietas) y la presencia de un umbral de resistencia mecánica asociado a la distribución de tensiones de compresión y tracción en los laminados diseñados y fabricados en este trabajo.

## 1. Introducción

El mecanizado de alta velocidad (MAV) ha adquirido en los últimos años una gran relevancia, permitiendo la mejora de la calidad de los acabados superficiales y el incremento de la productividad. Los carburos cementados (metal duro, WC-Co) y los cermetes (basados en TiCN) han cobrado gran importancia en este sector, sustituyendo a los aceros rápidos. Sin embargo, los mismos deben mejorar su comportamiento a alta temperatura y su fragilidad intrínseca, si pretenden garantizar las solicitaciones extremas que se alcanzan en las herramientas durante servicio y que pueden variar de punto a punto de esta. En la literatura se reportan varias soluciones, destacando el empleo de una o más capas de recubrimiento para evitar los problemas de desgaste por inestabilidad química a alta temperatura. Por otro lado, encontramos el uso de materiales con función gradiente (composición química o microestructura) (Bolognini, Mari, Viatte, y Benoit, 2001) (Chen, Lengauer, y Dreyer, 2000), así como el uso de materiales laminados (Bermejo y Deluca, 2012) (Lakshminarayanan, Shetty, y Cutler, 1996), que aprovechan el estado tensional y la composición de las capas para implementar las mejoras buscadas.

En este contexto, en este trabajo nos planteamos como objetivo el diseño, la fabricación y la caracterización de dos laminados distintos, uno que mejore el equilibrio tribo-mecánico (WC-Co/WC-Co) y otro que garantice el balance termo-mecánico (Cermet/WC-Co).

## 2. Materiales y procedimiento experimental

En la Figura 1 se muestra a modo de resumen las etapas del proceso de fabricación de los diseños de los laminados. En estos, se ha optimizado el espesor (diferencia de tensiones residuales de compresión y tracción), el número y la composición química de las capas de los laminados.



**Figura 1.** Etapas del proceso de fabricación de los laminados.

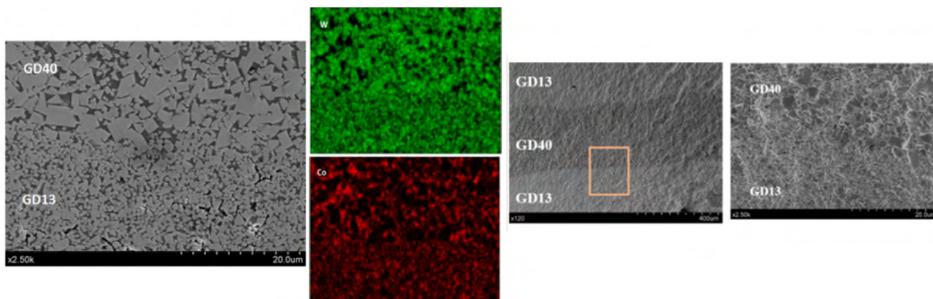
### 3. Resultados y discusión

La Figura 2 muestra a modo de ejemplo uno de los materiales laminados fabricados. Se puede observar la integridad estructural y la consecución del diseño simétrico del laminado, alternando en este caso capas de cermet y WC-Co.



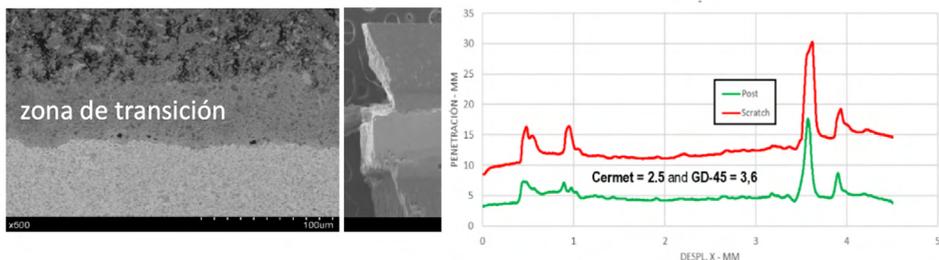
**Figura 2.** Aspecto del laminado del tipo Cermet/WC-Co, tras la etapa de sinterización.

La Figura 3 recoge detalles de imágenes SEM donde se observa la microestructura del laminado de tipo WC-Co/WC-Co, la distribución de W y Co en las capas y la calidad de la interfaz de estas. Por otro lado, las superficies de fractura permiten discernir los mecanismos responsables, particularmente la presencia de dimples en la capa del WC-Co más tenaz y de clivaje en la capa más frágil, corroborándose la calidad de las intercaras obtenidas.



**Figura 3.** Imágenes SEM, composición química, y superficie de fractura (mecanismos responsables: dimples y clivaje) del laminado WC-Co/WC-Co.

La Figura 4 resume los resultados del estudio realizado con el laminado de tipo cermet/WC-Co. En la misma se puede apreciar una zona de transición entre ambas capas (asociada a los fenómenos de difusión), el aspecto de la rotura del laminado (se pueden identificar mecanismos de desvío de las grietas por la acción de las intercaras que están a compresión), así como la correlación directa entre la dureza de las capas, la calidad de las intercaras y la resistencia al rayado de este laminado.



**Figura 4.** Imágenes SEM de la intercara, aspecto de la rotura y resistencia al rayado del laminado de tipo Cermet/WC-Co estudiado.

#### 4. Conclusiones

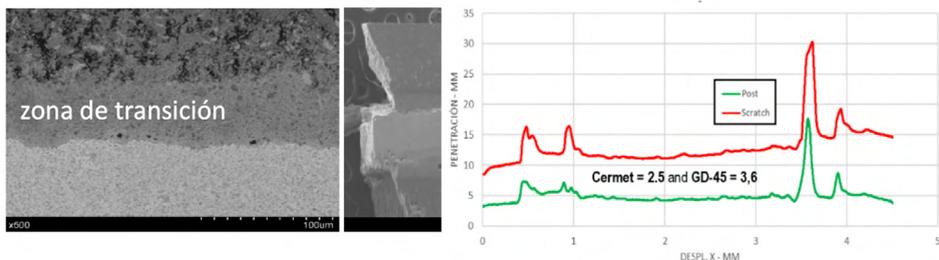
En este trabajo se han diseñado y fabricado laminados con equilibrio termo-mecánico (Cermet/WC-Co) y tribo-mecánico (WC-Co/WC-Co). Los mismos presentan una buena integridad estructural y calidad de la unión entre las láminas, así como la composición química, el espesor y la distribución de las tensiones residuales acordes a los diseños planteados. El comportamiento mecánico y la resistencia al rayado de los laminados es consistente con las tensiones residuales de compresión de las capas internas del laminado y con el papel de las intercaras (implementan mecanismos de detención y bifurcación de las grietas).

#### Agradecimientos

Agradecimientos a Durit Ibérica por los polvos suministrados para la fabricación de las muestras y a la Junta de Andalucía por la financiación del proyecto (P12-TEP-2622), así como a los estudiantes y técnicos de laboratorio, D. Ordoñez, E. Rodríguez, y J. Pinto, por su colaboración en la experimentación.

#### Referencias bibliográficas

- Bermejo, R., y Deluca, M.** (2012). *Layered ceramics. Handbook of advanced ceramics*. Academic Press, 733–751.
- Bolognini, S., Mari, D., Viatte, T., y Benoit, W.** (2001). Fracture toughness of coated TiCN–WC–Co cermets with graded composition. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 19(4–6), 285–92. [https://doi.org/10.1016/S0263-4368\(01\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0263-4368(01)00025-7)
- Chen, L., Lengauer, W., y Dreyer, K.** (2000). Advances in modern nitrogen-containing hardmetals and cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 18(2–3), 153–61. [https://doi.org/10.1016/S0263-4368\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0263-4368(00)00016-0)



**Figura 4.** Imágenes SEM de la intercara, aspecto de la rotura y resistencia al rayado del laminado de tipo Cermet/WC-Co estudiado.

#### 4. Conclusiones

En este trabajo se han diseñado y fabricado laminados con equilibrio termo-mecánico (Cermet/WC-Co) y tribo-mecánico (WC-Co/WC-Co). Los mismos presentan una buena integridad estructural y calidad de la unión entre las láminas, así como la composición química, el espesor y la distribución de las tensiones residuales acordes a los diseños planteados. El comportamiento mecánico y la resistencia al rayado de los laminados es consistente con las tensiones residuales de compresión de las capas internas del laminado y con el papel de las intercaras (implementan mecanismos de detención y bifurcación de las grietas).

#### Agradecimientos

Agradecimientos a Durit Ibérica por los polvos suministrados para la fabricación de las muestras y a la Junta de Andalucía por la financiación del proyecto (P12-TEP-2622), así como a los estudiantes y técnicos de laboratorio, D. Ordoñez, E. Rodríguez, y J. Pinto, por su colaboración en la experimentación.

#### Referencias bibliográficas

- Bermejo, R., y Deluca, M.** (2012). *Layered ceramics. Handbook of advanced ceramics*. Academic Press, 733–751.
- Bolognini, S., Mari, D., Viatte, T., y Benoit, W.** (2001). Fracture toughness of coated TiCN–WC–Co cermets with graded composition. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 19(4–6), 285–92. [https://doi.org/10.1016/S0263-4368\(01\)00025-7](https://doi.org/10.1016/S0263-4368(01)00025-7)
- Chen, L., Lengauer, W., y Dreyer, K.** (2000). Advances in modern nitrogen-containing hardmetals and cermets. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 18(2–3), 153–61. [https://doi.org/10.1016/S0263-4368\(00\)00016-0](https://doi.org/10.1016/S0263-4368(00)00016-0)

**González, L. M.** (2016). *Obtención y caracterización de laminados Cermet/WC-Co.* (Proyecto Final de Carrera). Universidad de Sevilla. <http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/5675/fichero/PFC+Luis+M.+Gonz%C3%A1lez+Becerra.pdf>

**Lakshminarayanan, R., Shetty, D. K., y Cutler, R. A.** (1996). Toughening of layered ceramic composites with residual surface compression. *Journal of the American Ceramic Society*, 79(1), 79–87. <https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.1996.tb07883.x>