



Comparación de las propiedades tribológicas de recubrimientos de Zn y Zn-Al obtenidos por metalización

Carlos Berlanga Labari¹, José Fernández Palacio^{1,2}, Adrián Claver Oliver¹, María Victoria Biezma Moraleda³

¹ Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica, Universidad Pública de Navarra, carlos.berlanga@unavarra.es, adrian.claver@unavarra.es

² Área de Ciencia de Superficies y Materiales Avanzados, AIN, jfpalacio@ain.es

³ Departamento de Ciencia e Ingeniería del Terreno y de los Materiales, Universidad de Cantabria, maria.biezma@unican.es

La mayoría de componentes mecánicos fabricados con acero estructural, están protegidos con una capa de zinc para mejorar su resistencia a la corrosión, en particular atmosférica, y a fenómenos superficiales de desgaste, en particular derivados de la abrasión.

Existen diferentes tecnologías para aplicar la capa de zinc sobre el acero, tales como el galvanizado por inmersión, electrodeposición, difusión térmica (sherardizado) y metalización, que producen capas de diferentes composiciones, espesores y propiedades sobre el sustrato de acero. En este trabajo, se compara la resistencia al desgaste de probetas de acero al carbono S235JR metalizadas mediante spray térmico con recubrimientos de Zn y de la aleación Zn-Al, con tres espesores diferentes (50, 100 y 200 micras). En un trabajo futuro, se realizará un estudio similar con recubrimientos de galvanizado obtenidos en caliente. De esta forma, se pretende comprobar la influencia de la técnica en la aplicación de recubrimientos de zinc.

Los resultados obtenidos durante los ensayos de tribología, realizados mediante pin-on-disc sin lubricante, empleando bola de acero templado de 100Cr6 de 6mm de diámetro, con 10 N de carga, 100 revoluciones por minuto de velocidad de giro; 14 mm de radio de la pista y una duración del ensayo de 1800s, se han analizado a posteriori mediante el empleo de microscopía confocal. Asimismo, se ha determinado la microdureza de ambos recubrimientos respecto al sustrato de acero. Todo ello ha permitido concluir el gran efecto que tiene el tipo de técnica de recubrimiento base zinc sobre el acero en su comportamiento tribológico.

1. Introducción

El método de proyección térmica por spray es una técnica ampliamente utilizada para proteger las superficies de acero frente a la corrosión en diversos sectores industriales, como el eólico marino [1-2]. Las torres eólicas en entornos offshore, en particular, están expuestas a fenómenos de fricción y desgaste y corrosión en condiciones de servicio, por ejemplo cuando los barcos de mantenimiento entran en contacto con las estructuras o bien, por el efecto del contacto con el hielo en ambientes muy fríos y, todo ello, en ambientes altamente corrosivos, como es el agua de mar [3,4]

Por lo tanto, es fundamental utilizar recubrimientos que no sólo resistan la corrosión, sino también el desgaste. El spray térmico de aleaciones de zinc-aluminio se emplea con frecuencia para proteger estas estructuras metálicas frente a ambos fenómenos [5]. Aunque la aleación de Zn-Al, aluminio al zinc ha demostrado ser eficaz para mejorar la resistencia a la corrosión, hasta la fecha hay muy pocos estudios de su comportamiento tribológico [6], por lo que este trabajo ha seleccionado un recubrimiento Zn15Al, lo que permitirá analizar el posible papel del aluminio, en comparación con un recubrimiento únicamente de Zn.

2. Procedimiento experimental

Las muestras fueron suministradas por una empresa que realizó los metalizados mediante la técnica de spray térmico utilizando arco eléctrico y aplicando un potencial de 30V con una intensidad de corriente de 200 A. Se aplicaron recubrimientos de Zn y de la aleación Zn15Al, en forma de alambre de 3 mm de espesor sobre un sustrato de acero al carbono S235JR. Previamente se realizó un granallado para aumentar la adherencia de los metalizados y que dejó la Sa en 16µm. Puesto que el objetivo ha sido estudiar la influencia sobre el comportamiento frente a tribocorrosión de dichos recubrimientos, se aplicaron tres niveles de espesores en ambas caras de las probetas de acero: bajos, (50 µm), intermedios, (100 µm) y altos, (200 µm) por ambas caras. Estos espesores se midieron, de forma precisa, con ayuda de la microscopía óptica.

Con el fin de caracterizar los recubrimientos, se midió la rugosidad superficial, mediante la técnica de microscopía confocal y la microdureza Vickers utilizando una carga de 0.1Kg.

El estudio tribológico se realizó mediante el ensayo de pin-on-disc con las siguientes condiciones: bola de acero templado 100Cr6 de 6mm de diámetro, con 10 N de carga, 100 r.p.m.; 14 mm de radio de la pista y un tiempo de ensayo de 1800s. Tras la finalización del ensayo, se midió tanto la pérdida de peso del surco, como, mediante microscopía confocal, el volumen perdido de material. Se realizaron los ensayos por duplicado y se obtuvo una media.

3. Resultados

3.1. Medición de espesores y microdurezas de los recubrimientos

La media de los valores de espesor medidos para ambas muestras se presenta en la Tabla 1. Los valores de los espesores son similares para ambos recubrimientos en todos los rangos.

Además, se ha observado que los recubrimientos no son homogéneos y con alta dispersión, lo que se asocia a la alta rugosidad del acero y a la aplicación manual de los recubrimientos. A modo de ejemplo, las micrografías de las Figuras 1 y 2, presentan los detalles para las probetas con Zn de espesor intermedio y de Zn-Al, de espesor alto, respectivamente, así como los perfiles de microdureza de los mismos, que quedan recopilados en la Tabla 2.

Tabla 1: Espesores medidos para ambos recubrimientos.

Recubrimiento	Espesor bajo (µm)	Espesor medio (µm)	Espesor alto (µm)
Zn	50 ± 10	100 ± 35	200 ± 55
Zn-15Al	50 ± 22	100 ± 38	200 ± 45

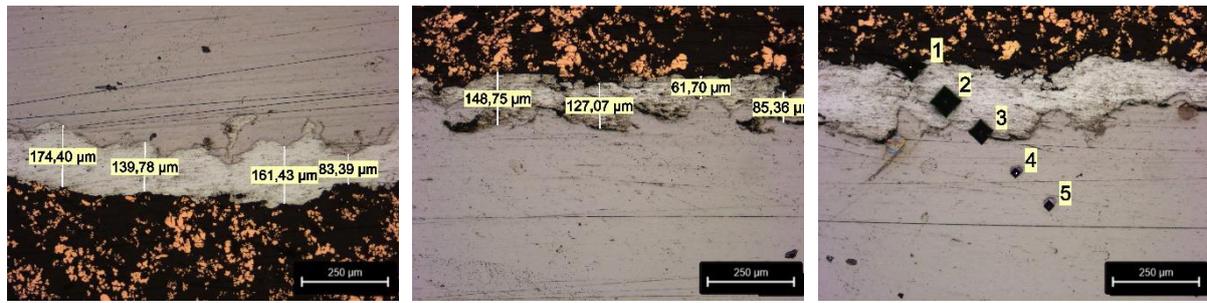


Figura 1: Espesores y perfil de microdurezas del recubrimiento de Zn, espesor intermedio (100 μm)

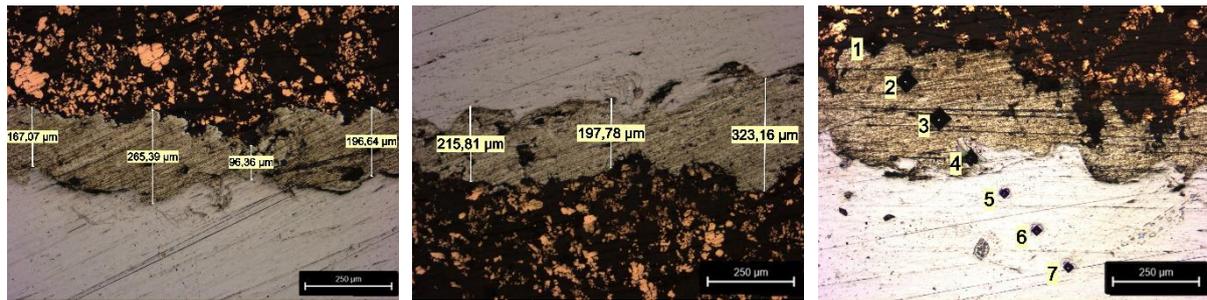


Figura 2: Espesores y perfil de microdurezas del recubrimiento de Zn-Al, espesor alto (200 μm)

Tabla 2: Medidas de microdurezas en los recubrimientos de las figuras 1 y 2.

HV _{0,1}	Posición 1	Posición 2	Posición 3	Posición 4	Posición 5	Posición 6	Posición 7
Zn	23.2	21.3	34.4	189.2	177.7		
Zn-15Al	29.3	39.5	35.7	82.5	232.3	188.6	183.3

Los datos de la Tabla 2 indican unos valores de dureza bajos característicos de estos recubrimientos, variando entre 21 y 40 HV_{0,1}. El recubrimiento Zn-Al es ligeramente más duro, pero apenas se siente para esta aleación el efecto endurecedor del Al.

3.2. Medida de rugosidad superficial de los recubrimientos

Los resultados obtenidos indican una alta rugosidad para ambos recubrimientos, recopilados en la Tabla 3. En las imágenes obtenidas mediante microscopía confocal sobre la topografía superficial, Figura 3, se pueden observar picos de hasta 200 μm .

Tabla 3: Medidas de rugosidad superficial.

Muestra – espesor (μm)	Zn – 50	Zn-100	Zn-200	ZnAl-50	Zn Al-100	Zn Al-200
Sa (μm)	18.5	19.3	20.2	22.3	28.8	28.1

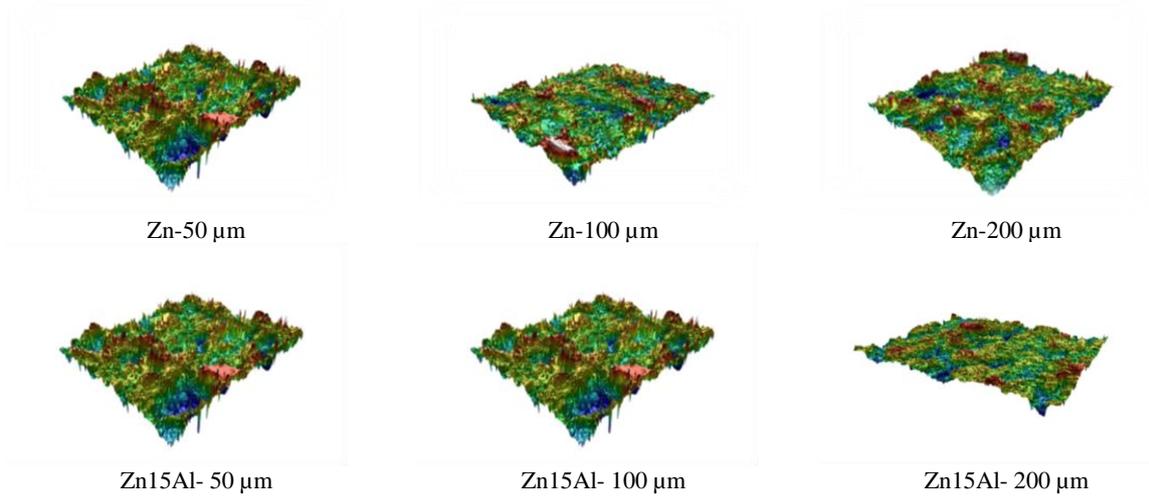


Figura 3: Imágenes obtenidas mediante microscopía confocal sobre la topografía superficial de los recubrimientos Zn y Zn-15Al de diferente espesor.

3.3. Resultados de tribología

Los resultados del coeficiente de fricción (μ) se muestran en las figuras 4 y 5. Hay que destacar los altos valores de dispersión obtenidos, lo que se asocia a la elevada rugosidad de los recubrimientos.

Hay que destacar que los recubrimientos de zinc puro muestran un mayor coeficiente de fricción para todos los espesores medidos ya que para los espesores bajos se ha medido una media de $\mu=0,55$ y para los espesores intermedios y altos un $\mu=0,70-0,80$. Los valores promedio obtenidos para los recubrimientos Zn15Al han sido similares entre sí y están en el rango entre $\mu=0,35$ y $\mu=0,40$ (Figura 6).

Los volúmenes de los surcos medidos indican un mayor desgaste para los recubrimientos de Zn que se reflejan en coeficientes de desgaste significativamente mayores a los obtenidos en los recubrimientos Zn15Al (Figura 7).

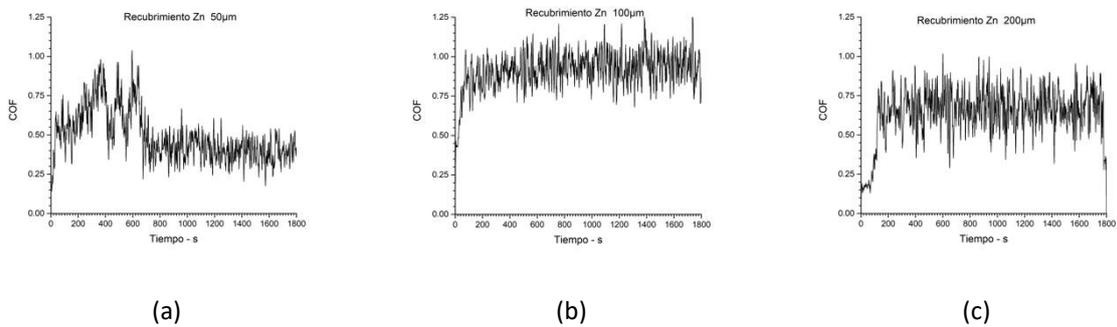


Figura 4: Gráficas del coeficiente de rozamiento con el tiempo para el recubrimiento de Zn: de diferentes espesores: a) bajo (50 μm), b) intermedio (100 μm), c) alto (200 μm).

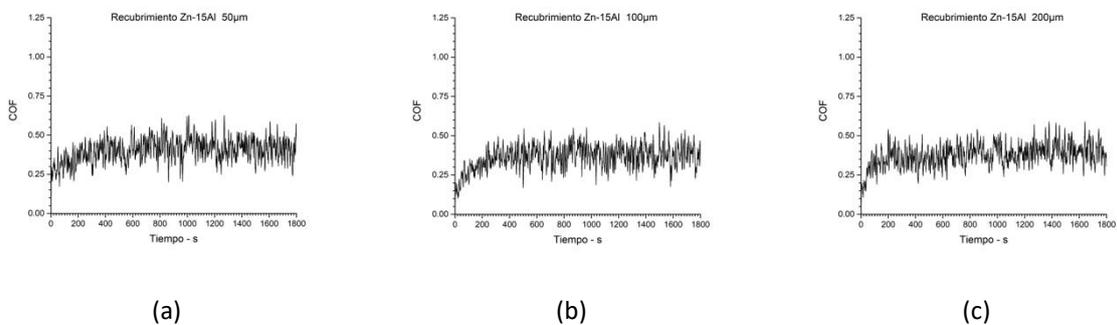


Figura 5: Gráficas del coeficiente de rozamiento con el tiempo para el recubrimiento de Zn-15Al de diferentes espesores: a) bajo (50 μm), b) intermedio (100 μm), c) alto (200 μm).

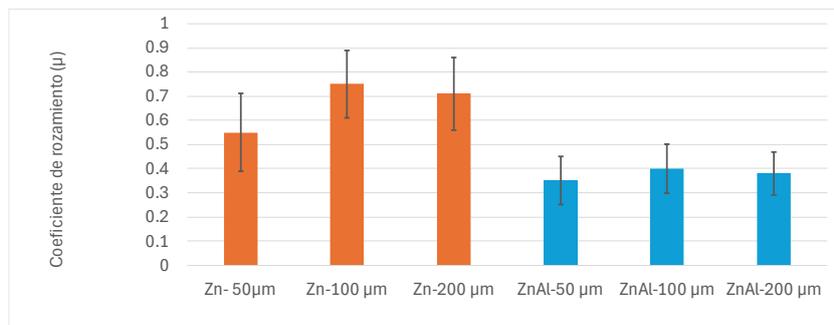


Figura 6: Medidas de los coeficientes de rozamiento promedio y su dispersión.

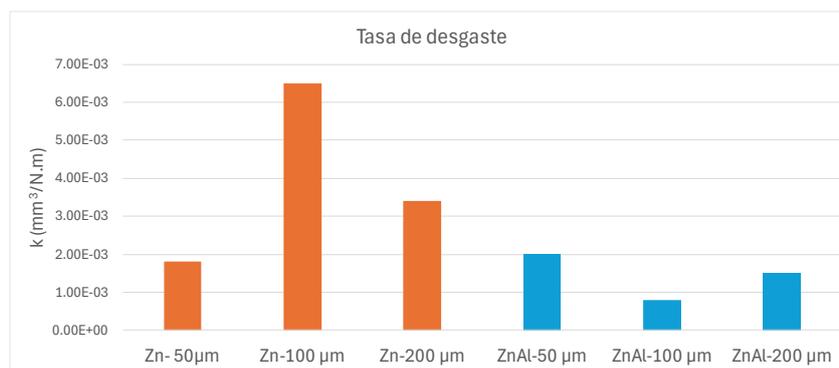


Figura 7: Coeficientes de desgaste medidos para los recubrimientos de Zn y Zn15Al.

4. Conclusiones

Tras caracterizar el comportamiento tribológico de dos tipos de recubrimiento, Zn y Zn15Al, sobre sustrato de acero al carbono, se extraen las siguientes conclusiones:

- Se ha observado un mejor comportamiento al desgaste de los recubrimientos de Zn15Al frente a los de Zn. Por tanto, se recomienda el uso de los recubrimientos de Zn15Al ya que, además, actualmente el precio a nivel industrial del Zn es superior al del Al.
- Debido a la baja dureza de ambos recubrimientos, que no excede 35 HV_{0.1}, la aplicación de espesores elevados no mejora significativamente el comportamiento frente al desgaste de los recubrimientos, con el impacto inmediato económico que ello supone.
- Como línea de trabajos futuros, se va a realizar un estudio comparativo entre estos recubrimientos estudiados, obtenidos por metalización, con los obtenidos por inmersión en caliente, analizando también la microestructura de éstos.

5. Referencias

- [1] Momber, A. W., Plagemann, P., & Stenzel, "Performance and integrity of protective coating systems for offshore wind power structures after three years under offshore site conditions". *Renewable energy*, **74**, 606-617 (2015).
- [2] Syrek-Gerstenkorn, B., Paul, S., "Metallic coatings in offshore wind sector—a mini review". *npj Mater Degrad* **8**, 86 (2024).
- [3] Weinell, C. E., Black, A. R., Mathiesen, T., & Nielsen, P. K., "New developments in coatings for extended lifetime for offshore wind structures". *Conf. Proceed.NACE CORROSION NACE*, pp. 9364. (2017)
- [4] Momber, A.W., Irmer, M., Glück,N., "Performance characteristics of protective coatings under low-temperature offshore conditions. Part 1: Experimental set-up and corrosion protection performance", *Cold Regions Science and Technology*, **127**, 76-82 (2016)

- [5] Li, Y., Liu, J., Duan, J., & Hou, B. , “Thermally sprayed aluminium and zinc coatings for tidal zone cathodic protection of offshore platform legs”, *Materials Performance*, **45** (12) 16-20 (2006).
- [6] S. K. Chourasiya, G. Gautam, N. Kumar, A. Mohan, S. Mohan, “Tribology of Spray-Formed Aluminum Alloys and Their Composites”, *Tribology and Surface Engineering for Industrial Applications* 1st Edition, , CRC Press (2021)