



**RECUBRIMIENTOS ANTIDESGASTE PARA ELEMENTOS
DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS**

RECUBRIMIENTOS ANTIDESGASTE Y PARA ELEMENTOS DE TURBINAS HIDROELÉCTRICAS

RESUMEN

En el mercado de rodets Pelton, Francis, Kaplan para centrales hidroeléctricas, los recubrimientos de metalización por HVOF se especifican usualmente para alargar la resistencia al desgaste principalmente por erosión de partículas arrastradas y por cavitación (ver Fig. 1). Destacadas empresas como Amdritz, y WKV, trabajan de la mano con empresas del ramo de HVOF como Oerlikon Metco (antes SULZER Metco), Praxair-TAFA, y Deloro-Stellite (actualmente Kennametal) para desarrollar las especificaciones necesarias para esta aplicación (Ref 1)(Ref 2). El proceso actualmente especificado es el de metalización por HVOF (high-velocity-oxygen-fuel) que deposita material particulado a alta velocidad (sobre 600 m/s de velocidad de partículas) creando un recubrimiento denso y de alta adherencia.

INTRODUCCIÓN

En esta aplicación se sugieren recubrimientos de aleación Stellite 6 (base de Cobalto, níquel y otros aleantes) muy resistentes a la cavitación. Para condiciones de mayor erosión, se especifica el material de carburo de tungsteno en una matriz de cobalto-cromo (en aleación) – WC-CoCr. Estos cermetes (compuesto cerámico-metal) alcanzan una alta dureza por la presencia de los carburos WC y también una alta resistencia a la fractura por la presencia de la matriz de Cobalto-Cromo. Su dureza está entre 65 a 70 HRC medido por microdureza. El espesor usual especificado para esta aplicación es de 0.15 a 0.2 mm. Todos los componentes, WC, Co, Cr, aseguran una adecuada resistencia a la corrosión. La capa que se deposita es uniforme y densa asegurando una completa protección en el caso de corrosión galvánica.

Particularidades de la aplicación

Del espesor.- a diferencia de lo que se podría pensar un recubrimiento más grueso no beneficia a la aplicación. Si bien, más material podría soportar más al desgaste pero recubrimientos más gruesos se ven afectados por esfuerzos residuales producto del procesamiento. Los esfuerzos residuales provocan delaminación prematura. (Ref 3)(Ref 4)



Fig 1. Ejemplos de procesos HVOF para turbinas Pelton y Francis. Procesos: arriba: HVOF JP-5000, abajo: HVOF-DJ-2700.

Efectos de borde.- Los bordes finales de un recubrimiento son las zonas que más sufren de delaminación por efecto de desbalance de los esfuerzos residuales. Algunas técnicas sugieren depositar espesores menores en los bordes o realizar un maquinado previo del material base para producir una cavidad donde el recubrimiento se acople.

Ensayos no destructivos.- Para recubrimientos de carburos de tungsteno se sugieren las siguientes técnicas no destructivas:

- Corrientes de Eddy.- Para control del espesor. Técnica probada. (ver Fig. 2A)(Ref 5)
- Tintas Penetrantes.- Para control de grietas en casos de esfuerzos de deformación elevados. Técnica probada. (ver Fig. 2B)(Ref 3)
- Ultrasonido.- Para identificación de zonas de delaminación. Técnica utilizada pero no 100% confiable.

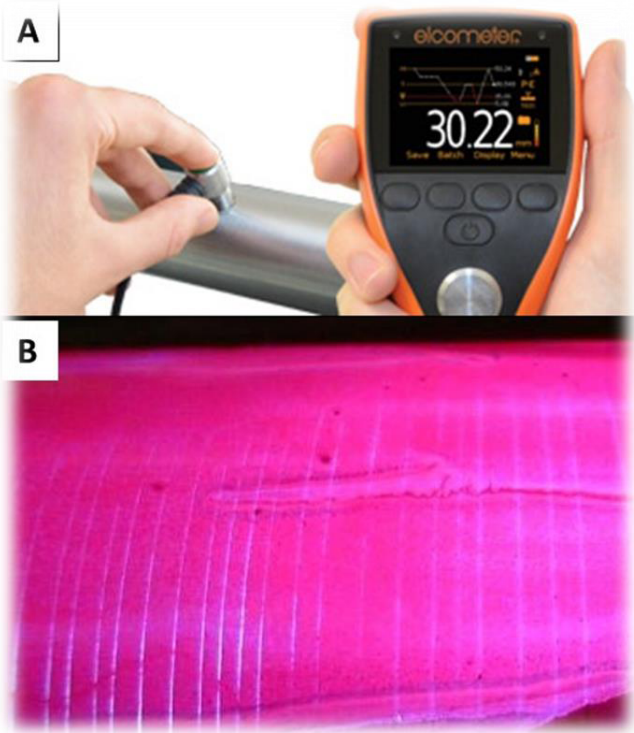


Fig 2. A. Medición de espesores por técnica de corrientes de Eddy. B. Técnica de líquidos penetrantes aplicada a recubrimientos de carburo de tungsteno.

Ensayos destructivos.- Se utilizan para medición de adherencia, dureza e identificación de porosidad y fases del recubrimiento. Son técnicas típicamente utilizadas para calificar la calidad de recubrimientos antes del proceso de depósito. A continuación, se describen brevemente cada una.

- Microdureza.- Se utilizan técnicas de microdurómetro Vickers o Knoop, los cuales se realizan en laboratorios especializados (en el Ecuador, disponibles en la USFQ, y ESPE). No se recomienda utilizar indentadores de mayor tamaño tipo macrodureza (Brinell, or Rockwell) pues la indentación por si misma podría producir una pequeña delaminación del recubrimiento. (ver Fig. 3A)

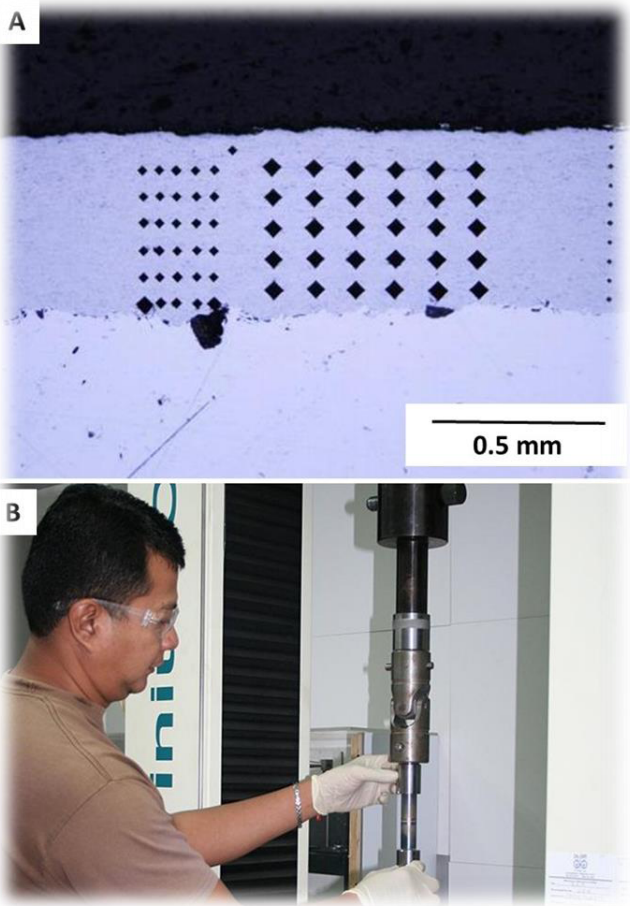


Fig 3. A. Medición de dureza por microindentación Vickers. Las muescas son visibles y medibles mediante microscopía óptica. B. Técnica de Medición destructiva de adhesión mediante ensayo ASTM C633.

- Ensayo de Adherencia.- Se ejecuta mediante norma ASTM C633. (Standard Test Method for Adhesion or Cohesion Strength of Thermal Spray Coatings) (Ref 6). El tipo de recubrimiento en discusión, debería tener una resistencia a la adhesión en ensayo de tracción por máquina universal de ensayos superior a los 10.000 psi. Brevemente, el ensayo consiste en rociar la base de un cilindro de acero que es adherido mediante una resina de alta resistencia a otro cilindro

de acero. Luego de curada la resina, el conjunto se somete a una máquina de tracción. La falla debería producirse en la resina (interface entre el recubrimiento y el segundo cilindro). La resistencia a la adherencia que se le asigna al recubrimiento es aquella de la máxima resistencia de la resina. (ver Fig. 3B)

- Micrografía.- Es práctica usual observar la microestructura de los recubrimientos en un cupón de muestra, en el que se puede observar: 1) la densidad del recubrimiento (porosidad menor al 4%, regularmente); 2) residuos de granalla para producir la rugosidad inicial, 3) zonas de descomposición de carburos WC en W₂C, etc. (ver Fig. 4) (Ref 7)

Reparación de Recubrimientos.- De la experiencia recabada, la reparación de recubrimientos no se sugiere. Es decir, si el recubrimiento se ha delaminado en una pequeña zona, no se sugiere depositar recubrimiento solo en esa zona. La razón es que los esfuerzos residuales del nuevo recubrimiento pueden afectar y provocar delaminación de las zonas aledañas afectadas en el borde. Además, conseguir un recubrimiento de espesor homogéneo solo en la zona afectada puede no ser sencillo si el rociado se aproxima al borde del recubrimiento todavía presente.

Referencias:

1. W.E. Out-, Surfaces for Longer Life, 2011, (March), p 26-30.
2. H. Turbine, C. Solutions, and O. Metco, Solutions Flash Robust Coating Solutions for Hydropower Turbines Extend Operating Life and Maintain Efficiency, 2014, (October), p 1-8.
3. C.-P. Hubs, L. Pitch, S. Lever, U.S.H. Chrome, and A. Team, Validation of WC / Co, WC / CoCr HVOF or Tribaloy 800 Thermal Spray Coatings as a Replacement for Hard Chrome Plating on, 1999, (November).
4. A. Valarezo, G. Bolelli, W.B. Choi, S. Sampath, V. Cannillo, L. Lusvarghi, and R. Rosa, Damage Tolerant Functionally Graded WC-Co/Stainless Steel HVOF Coatings, Surf. Coatings Technol., Elsevier B.V., 2010, 205(7), p 2197-2208, doi:10.1016/j.surfcoat.2010.08.148.
5. J. Koutsk and J. Vesel, Evaluation of White Metal Adhesion (Conventional Casting and Thermal Wire Arc Spraying) by Ultrasonic Non-Destructive Method, J. Mater. Process. Technol., 2004, 157-158(SPEC. ISS.), p 724-728.
6. R.S. Lima, Discussion Topics and Threads on Thermal Spray, J. Therm. Spray Technol., 2007, 16(1), p 24-27.
7. T. Varis, T. Suhonen, a. Ghabchi, a. Valarezo, S. Sampath, X. Liu, and S.-P. Hannula, Formation Mechanisms, Structure, and Properties of HVOF-Sprayed WC-CoCr Coatings: An Approach Toward Process Maps, J. Therm. Spray Technol., 2014, 23(6), p 1009-1018, doi:10.1007/s11666-014-0110-5.

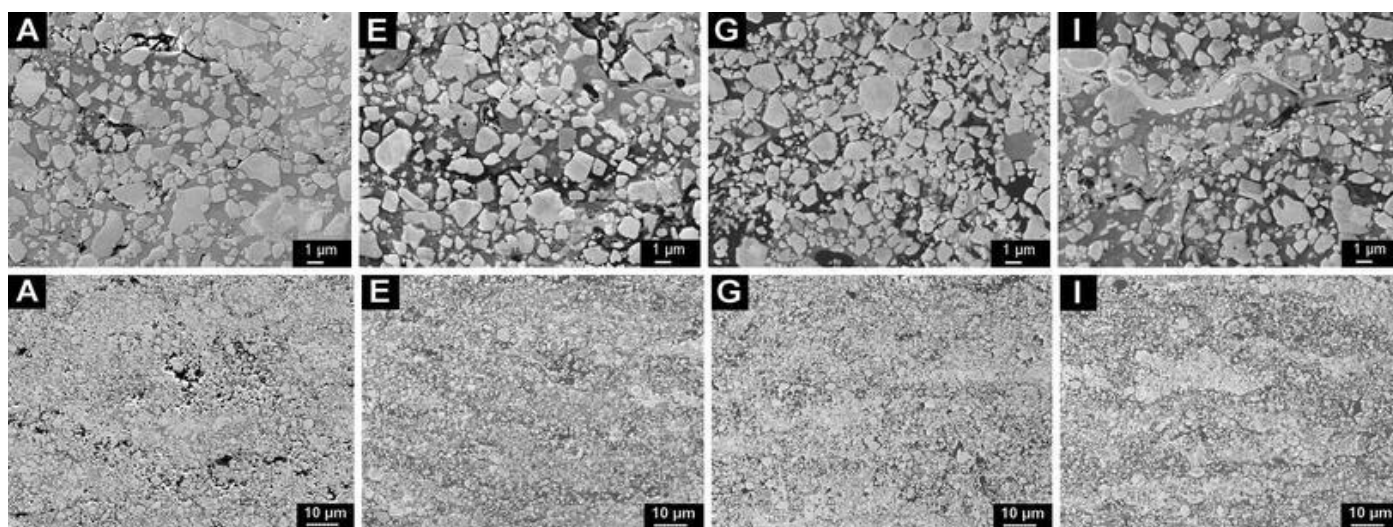


Fig 4. Ejemplos de micrografías de carburo de tungsteno en dos diferentes magnificaciones. A. microestructura con presencia de porosidad. E y G. microestructura de recubrimiento denso (se observa los carburos con formas de rocas, en la matriz circundante de CoCr. I) zonas claras con evidencia de descomposición del carburo WC en W₂C-fase de mayor dureza y frágil.