

Recubrimientos realizados mediante la técnica de Flame Spray: caracterización y propiedades mecánicas.

R. GASTIEN, P. RATTO, E. AYLLÓN, R. TOPOLEVSKY

CITEFA (INSTITUTO DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS Y TÉCNICAS DE LAS FUERZAS ARMADAS)
ZUFRIATEGUI 4380, V. MARTELLI (1603), PCIA. DE BS. AS., ARGENTINA
e-mail: *material@citefa.edu.ar*

Resumen

Los recubrimientos por flame spray tienen gran aplicación en la industria textil, metalmecánica, papelera, cementera, aeronáutica y sidero-metalúrgica por presentar una gran resistencia a la abrasión y la erosión y por ser eficientes barreras térmicas.

El objetivo de este trabajo ha sido la implementación de ensayos para el estudio de las propiedades mecánicas de los recubrimientos. En particular se estudiaron recubrimientos de alúmina, de acero al cromo, y de alúmina-titania^{*}, con espesores del orden del milímetro y depositados sobre sustratos metálicos de acero SAE 1010.

Se realizó una caracterización morfológica de la superficie de los mismos antes y después de los ensayos mecánicos mediante microscopía electrónica de barrido. Se estudiaron sus propiedades mecánicas de adhesión-cohesión. Se presentan resultados preliminares del efecto de cargas cíclicas sobre las propiedades mecánicas mencionadas.

Se determinó que la resistencia mecánica de los recubrimientos satisface la estadística de Weibull. Los valores relativamente bajos obtenidos para el módulo de Weibull se relacionaron con la elevada densidad de defectos observada y que son inherentes a la técnica de aplicación del recubrimiento. Estos bajos valores indican la necesidad de realizar un mayor número de ensayos para determinar la confiabilidad mecánica de los recubrimientos.

Abstract

Flame spray coatings have great application in textile, aeronautic and metallurgic industries, because they improve the corrosion and abrasion resistance and behave like efficient thermal barriers.

The aim of this work was the establishment of tests for studying the mechanical properties of these coatings. In particular, we deal with alumina, chrome steel and alumina-titania coatings, of approximately one millimeter thickness, deposited on SAE 1010 steel substrates.

A morphological characterization of these surfaces were made before and after the mechanical tests, using scanning electron microscopy, and we investigate their adhesion-cohesion mechanical properties. We present preliminar results of the effects of cyclic loads in their mechanical properties.

We determine that the mechanic resistance of coatings satisfy Weibull statistics. The low values obtained for the Weibull modulus were related to the observed high density of defects which are inherent to the deposition technique. The low values-Weibull modulus try to assume low mechanical confiability of the coatings, but it will be necessary to do more tests to aseverate that.

* denominación comercial: Metoxid 6-3015, Metoxid 6-3016 y Exobond 4010, provistos por la firma UTP Argentina.

Preparación de las muestras

Los distintos recubrimientos fueron depositados sobre probetas de acero SAE 1010 de 115 x 16 x 16 mm (figura 1), utilizando la técnica de flame spray. La misma utiliza una llama de oxiacetileno, a través de la cual se inyecta un polvo cerámico o metálico según el caso. Este se funde parcialmente en el cono de la llama, y las partículas así tratadas se proyectan hacia la superficie a recubrir (que es previamente calentada), donde se apilan en forma laminar o globular para formar el recubrimiento. El proceso da como resultado una capa inhomogénea y muy porosa, como se puede apreciar en las figuras 2, 3 y 4.

Para mejorar la adherencia entre el recubrimiento propiamente dicho y el sustrato se depositó en todos los casos una capa de níquel del orden de 0.1 mm, tal como es práctica usual en esta técnica.

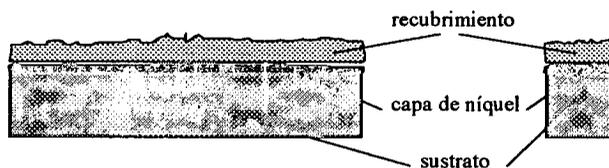


Figura 1: Esquema de la probeta recubierta estudiada en este trabajo. Obsérvese la capa de níquel entre el sustrato y el recubrimiento.

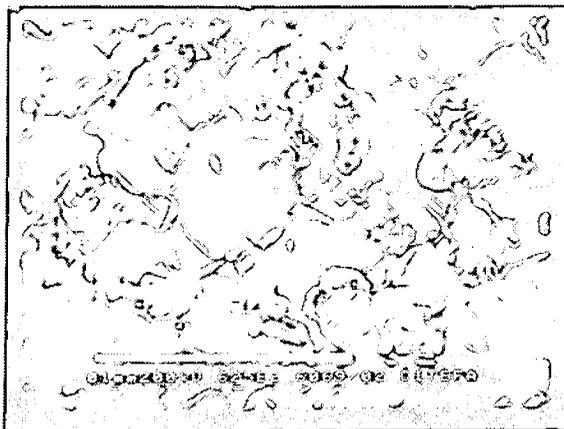


Figura 2: Micrografía que muestra la superficie del recubrimiento de alúmina. Notar la característica laminar de la película. (600X)

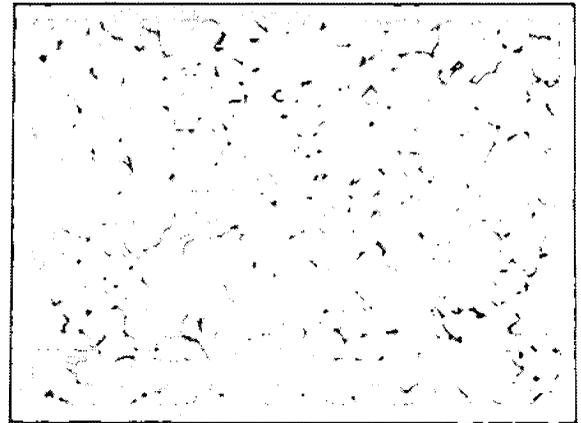


Figura 3: Micrografía que muestra la superficie del recubrimiento de alúmina-titania. Notar la característica globular del depósito. (250X)



Figura 4: Micrografía que muestra una vista transversal del recubrimiento de alúmina-titania. De izquierda a derecha: sustrato, capa de níquel y recubrimiento (120X).

Ensayos estáticos

Mediante ensayos de tracción se caracterizaron las propiedades de adhesión-cohesión de los recubrimientos siguiendo los lineamientos generales de la norma ASTM C 633. De las probetas descritas en la figura 1 se cortaron muestras de 8 x 16 x 16 mm y se ensamblaron como se ve en la figura 5. Los ensayos se realizaron con velocidad constante de desplazamiento de 0.02 mm/seg en una máquina universal Sintech 2/DL, controlada por el software MTS Test Works.

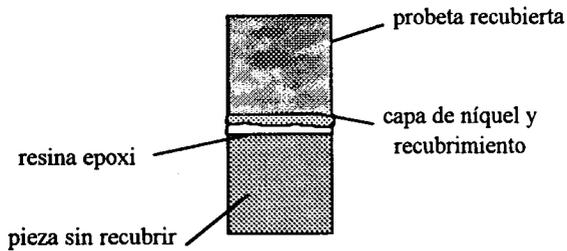


Figura 5: esquema de la probeta utilizada en el ensayo de tracción. La probeta cortada de la figura 1, se pega con resina epoxi a otra sin recubrir, para poder montarla en la máquina de ensayos

Ensayos dinámicos

Para realizar el ensayo bajo carga cíclica, se montó la probeta mostrada en la Figura 1 en un

dispositivo de flexión en 4 puntos, utilizando una máquina de ensayos MTS 810 controlada por el software MTS Test Ware. Luego del ciclado se cortó la probeta en secciones y se procedió como se indicó para los ensayos estáticos en la sección anterior. Así se obtuvo el valor de tensión de rotura σ_r para cada caso.

Resultados

Los resultados generales de adhesión-cohesión se resumen en la tabla 1. Las figuras 6 y 7 muestran el aspecto fractográfico de la fenomenología descrita en la tabla 1.

TABLA 1: PROPIEDADES DE ADHESIÓN-COHESIÓN DE LAS DISTINTAS CAPAS QUE CONFORMAN CADA RECUBRIMIENTO (↑ = alta, ↓ = baja)

Propiedades	Recubrimiento		
	alúmina	acero al cromo	alúmina-titania
adhesión sustrato-níquel	↑	↑	↓
adhesión níquel-recubrimiento	↓	↓	↓
cohesión recubrimiento	↓	↓	↓
cohesión níquel	↑	↑	↓

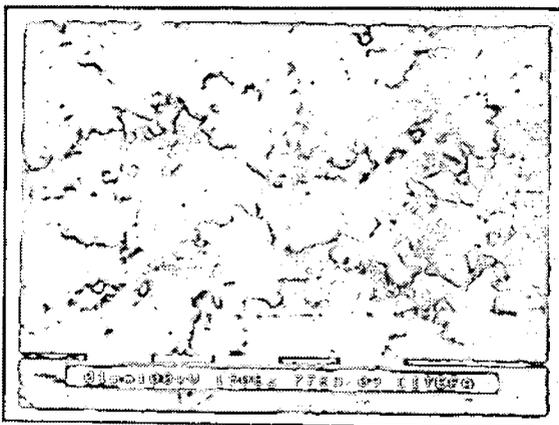


Figura 6: Micrografía que muestra una región de la probeta de acero al cromo luego de la tracción. En el fondo se observa la capa de níquel que copia las rayas producidas durante la preparación del sustrato, rectificado, y sobre ella aparecen restos de recubrimiento que han quedado adheridos (150X).

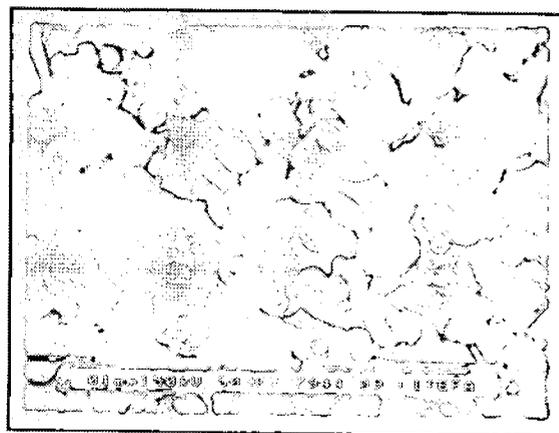


Figura 7: Micrografía que muestra una región de la probeta de alúmina-titania luego de la tracción, mostrando la falla de cohesión del recubrimiento (500X).

Consistente con lo que reporta la literatura,^{1,2} la resistencia mecánica de los recubrimientos satisface la estadística de Weibull, que indica para la relación entre la probabilidad de falla (P_f) y la tensión aplicada (σ):

$$P_f(V) = 1 - \exp \left[-\frac{V}{V_0} \left(\frac{\sigma - \sigma_u}{\sigma_0} \right)^m \right] \quad (1)$$

donde m es el módulo de Weibull, V es el volumen, σ_u es la tensión por debajo de la cual la probabilidad de falla es cero y σ_0 es un parámetro normalizador al igual que V_0 .

Tomando doble logaritmo de la expresión

anterior, resulta:

$$\ln \left\{ \ln \left[\frac{1}{1 - P_f} \right] \right\} = m \cdot \ln \left(\frac{\sigma_f}{\sigma_0} \right) + b \quad (2)$$

donde m es directamente la pendiente de la recta.

Los resultados se ajustaron por cuadrados mínimos. En la tabla 2 se muestran los valores característicos de la tensión de rotura (σ_r) obtenidos para los distintos recubrimientos, junto con los valores del módulo de Weibull (m) y el coeficiente de correlación de la recta de ajuste en cada caso.

TABLA 2: VALORES DE TENSIÓN DE ROTURA CARACTERÍSTICA, MÓDULO DE WEIBULL Y COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE LA RECTA DE AJUSTE PARA CADA RECUBRIMIENTO

Recubrimiento	σ_r (MPa)*	m	r
alúmina	22.7	3.97	0.992
acero al cromo	14.5	4.06	0.974
alúmina titania	31.0	2.33	0.970

* calculado como la tensión correspondiente a $P_f = 0.632$ en la recta de ajuste.

La tabla 3 muestra los valores característicos de tensión de rotura (σ_r), el módulo de Weibull (m) y el coeficiente de correlación de la recta de

ajuste, obtenidos luego de los distintos ensayos bajo carga cíclica realizados a la probeta de alúmina-titania.

TABLA 3: VALORES OBTENIDOS TRAS LOS ENSAYOS DE CICLADO PARA UNA MUESTRA RECUBIERTA CON ALUMINA-TITANIA. SE INDICAN LA CANTIDAD DE CICLOS REALIZADOS Y LA AMPLITUD DE LA CARGA ΔF APLICADA.

ΔF (Kgf)	ciclos	f (Hz)	σ_r (MPa)*	m	r
muestra sin ciclar			31.0	2.33	0.941
60	$7 \cdot 10^5$	25	11.3	2.33	0.982
125	$5 \cdot 10^5$	25	9.9	1.95	0.976
250	10^6	25	16.2	1.93	0.988

Conclusiones

Los resultados indicarían que la interfase de níquel es la menos resistente de la cadena mecánica, puesto que si bien presenta buena adhesión al sustrato, su adhesión al recubrimiento es débil.

Los resultados de los ensayos de tracción satisfacen una estadística de Weibull. Sobre esta base puede avanzarse en análisis teóricos de confiabilidad y predicción de vida potencialmente muy útiles en las aplicaciones industriales.

Los valores preliminares obtenidos son consistentes con la microestructura de los recubrimientos que presentan, en su análisis por microscopía electrónica de barrido, alta densidad de defectos y como consecuencia de los mismos es de esperar dispersión en los resultados. Esta dispersión se refleja en los bajos valores de m obtenidos.

Las experiencias realizadas hasta el momento sólo permiten poner en evidencia que las cargas cíclicas degradan los recubrimientos estudiados. Las diferencias que se producen en el proceso de aplicación del recubrimiento en las distintas muestras, temperatura inicial, régimen de enfriamiento, espesor, producen sensibles diferencias en las condiciones físicas iniciales, que enfatizan la necesidad de realizar un mayor número de ensayos de fatiga para poder obtener

resultados estadísticos confiables. Éstas conducen a las distintas degradaciones no correlacionables entre sí que se observan en la tabla 3.

Líneas de trabajo futuras:

Desarrollo de un número mayor de ensayos que permitan realizar una estadística más amplia, incluyendo análisis de confiabilidad y predicción de vida. Notamos la necesidad de profundizar en el mejoramiento del sistema de alineación para poder obtener resultados repetitivos.

Referencias

- 1) R.W.Davidge, "Mechanical behavior of ceramics", Cambridge University Press (1979).
- 2) M.Ferber, S.Brown, "Adhesive/cohesive fracture characteristics of plasma-sprayed alumina coatings applied to 316L stainless steel and Ti-6Al-4V ELI alloy substrates in various physiological media". "Fracture Mechanics of Ceramics", vol.6, edited by R.Bratt, D.Hasselmann & F.Lange, Plenum Press, New York (1978).

Agradecimientos

Al Lic. Diego Lamas (CITEFA) por haber participado en la caracterización de los recubrimientos y al Ing. Nelson Álvarez-Villar (CITEFA) por su ayuda para la realización de los ensayos bajo carga cíclica.