

# EVALUACIÓN DE LA CORROSIÓN EROSIÓN EN MULTICAPAS DE $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$ DEPOSITADAS EN UN ACERO AL CARBONO AISI 1045

## EVALUATION OF EROSION CORROSION IN MULTILAYER $[\text{TiN} / \text{TiAlN}]_n$ DEPOSITED IN A CARBON STEEL AISI 1045

CLAUDIA ESPAÑA<sup>1</sup>  
WILLIAM APERADOR<sup>2</sup>  
CÉSAR AMAYA<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Ingeniera de Materiales, Universidad del Valle, Colombia.  
liliespa@gmail.com.

<sup>2</sup>Físico. Ph.D Ingeniería de Materiales, Universidad del Valle, Colombia,  
Investigador; Escuela Colombiana de Ingeniería Antonio Garavito.  
wiapch@yahoo.es

<sup>3</sup>Ingeniero de Materiales, y Estudiante, M.Sc., Ingeniería de Materiales,  
Universidad del Valle, SENA - Centro Nacional de Asistencia Técnica  
a la Industria, Colombia, ceamaya@sena.edu.co

### Resumen

Se depositaron recubrimientos multicapas de  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$  con períodos de 2, 6, 12 y 24 bicapas mediante la técnica PVD Magnetron Sputtering sobre acero al carbono AISI 1045 para evaluar su comportamiento frente a la corrosión-erosión, en una solución compuesta por 0.5M de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  y 3.5% de NaCl + sílice, bajo dos ángulos de impacto de 30° y 90° mediante la implementación de la técnica electroquímica de curvas de polarización Tafel.

Se encontró que los recubrimientos en forma de multicapas mejoran notablemente la resistencia a la corrosión del acero 1045, lo cual se evidenció en la disminución de los valores de velocidad de corrosión y densidad de corriente de corrosión.

**Palabras Claves:** recubrimientos duros, multicapas de  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$ , acero al carbono, curvas de polarización Tafel, velocidad de corrosión.

### Abstract

Multilayer coatings of  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$  were deposited with periods of 2, 6, 12 and 24 bilayers by PVD magnetron sputtering technique on carbon steel AISI 1045 to evaluate its behavior against erosion corrosion in a solution composed of 0.5M  $\text{H}_2\text{SO}_4$  and 3.5% NaCl + silica under two impact angles 30° and 90° by means of electrochemical technique of Tafel polarization curves.

It was found that coatings in form of multilayer significantly improve the corrosion resistance of steel 1045, evidenced by the decrease in the values of corrosion rate and corrosion current density.

**Keywords:** hard coatings, multilayers of  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$ , carbon steel, Tafel polarization curves, corrosion rate.

**Recibido:** Julio 31 de 2009

**Aceptado:** Noviembre 14 de 2009

## 1. Introducción

La corrosión erosión es un fenómeno de deterioro que se presenta en los metales ocasionado por el efecto combinado de un ataque químico y desgaste físico como consecuencia del movimiento de fluidos que contienen sólidos en suspensión.

Las aleaciones que forman una película superficial en un ambiente corrosivo comúnmente presentan un límite en la velocidad por encima de la cual la corrosión se acelera rápidamente. La corrosión erosión se asocia con una corriente inducida por la eliminación mecánica de la superficie de la película protectora que se traduce en un posterior aumento de la tasa de corrosión, ya sea a través de procesos químicos o electroquímicos. (corrosion - doctors, 2009).

Los recubrimientos depositados por PVD tales como los nitruros con alto contenido de aluminio, como por ejemplo el Nitruro de Titanio Aluminio (TiAlN) proporcionan alta resistencia al desgaste, altas temperaturas de servicio, resistencia a la oxidación y baja conductividad térmica (Endrino, 2006).

En años recientes la combinación de estos nitruros con nitruros binarios tales como el Nitruro de Titanio (TiN) en recubrimientos tipo multicapa  $[\text{TiN}/\text{TiAlN}]_n$  ha despertado un gran interés debido a la combinación de propiedades de ambos materiales (TiN y TiAlN) (Mushta, 2008), lo que permite depositarlo sobre herramientas de corte en diversas aplicaciones.

A pesar de que se ha evaluado un gran campo en la caracterización de propiedades mecánicas de estos recubrimientos, hasta la fecha es poca la información disponible en cuanto a su comportamiento frente a la corrosión-erosión, lo cual se convierte en el objetivo del presente trabajo de investigación.

## 2. Metodología

Para esta investigación se utilizó acero AISI 1045 en su es-

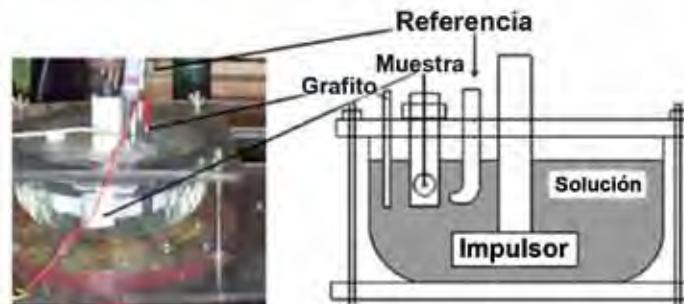


Figura 1. Esquema del Equipo Utilizado

tado de entrega, normalizado con una dureza de 276 HV, el cual fue recubierto por multicapas de TiN/TiAlN por medio de la técnica de PVD Magnetron Sputtering considerando los siguientes parámetros de deposición:

La evaluación de la resistencia a la corrosión erosión se realizó mediante la técnica electroquímica curvas de polarización Tafel y mediante el uso de un equipo tipo cilindro rotatorio, que consta de un recipiente de vidrio en el cual va contenido el electrolito, una tapa de acrílico, en la cual se disponen un electrodo de referencia (Ag/AgCl), un contra-electrodo (grafito) y el portamuestras con un área de exposición de la muestra de  $1\text{cm}^2$ .

El porta-muestras se puede ubicar a dos ángulos diferentes de impacto del fluido ( $30^\circ$  y  $90^\circ$ ). Además, el equipo consta de un impulsor de HUMWPE (Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular) ajustado a un eje de teflón acoplado al eje de un motor que genera el movimiento del electrolito y el impacto de éste sobre la muestra. La velocidad de giro utilizada fue de 1930 rpm. En la Figura 1 se muestra un esquema del equipo utilizado:

## 3. Resultados y Discusión

La Figura 2 muestra las curvas de polarización Tafel para los ensayos de corrosión erosión bajo un ángulo de impacto de  $30^\circ$ .

En ella se observa un comportamiento positivo de los recu-

Tabla 1. Parámetros de deposición de las multicapas.

Blancos	Ti y Al (99.99% pureza) 4 pulgadas de diámetro
Sustratos	Acero AISI 1045
Técnica	Magnetron Sputtering r.f. (13.56 MHz)
Potencia (W)	350
Voltaje polarizador sustrato r.f. (-V)	70
Relación de gases (Ar%/N <sub>2</sub> %)	93/7
Temperatura del sustrato (°C)	300
Flujo parcial de nitrógeno (sccm)	3.7
Presión de trabajo (mbar)	$1.2 \times 10^{-2}$
Número de Bicapas	2, 6, 12 y 24

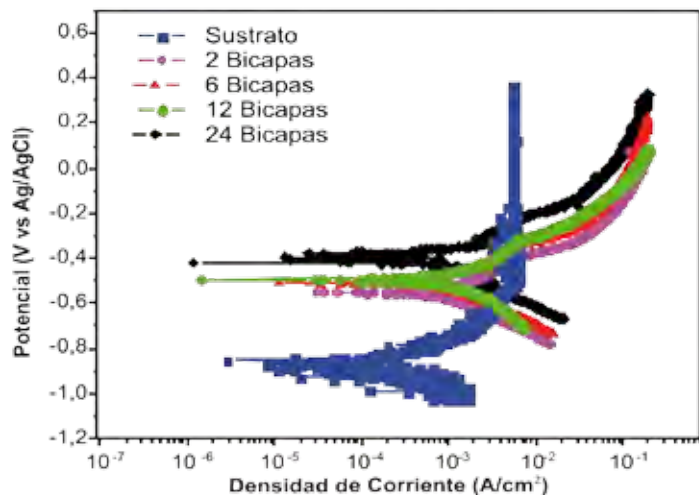


Figura 2. Curvas de polarización Tafel - Corrosión erosión 30°

brimientos frente a estas condiciones, lo cual se evidencia en el desplazamiento de las curvas hacia valores de densidad de corriente de corrosiones inferiores y potenciales más nobles que el sustrato. Además, este comportamiento se ve mejorado con el aumento del período de las multicapas, demostrando que a mayor número de bicapas, mejor respuesta exhiben los recubrimientos frente a los efectos corrosivos erosivos.

Teniendo en cuenta los parámetros calculados de las curvas Tafel, para condiciones corrosivas erosivas y un ángulo de impacto de 30° (Tabla 2), podemos reiterar lo dicho anteriormente acerca de la protección que ejercen los recubrimientos duros sobre el sustrato, al presentar menores valores de velocidad de corrosión que se ven disminuidos aún más con el aumento del número de las bicapas, con lo cual se crea un mayor número de interfaces que impiden la difusión del electrolito hacia el sustrato y ocasiona daños debido al inicio de procesos de corrosión.

En la Figura 3 se presentan las curvas Tafel para corrosión erosión y una ángulo de 90°. Se observa que al igual que para el ángulo de 30°, la resistencia a la corrosión incrementa al depositar las películas en forma de multicapas de TiN/TiAlN sobre el acero 1045.

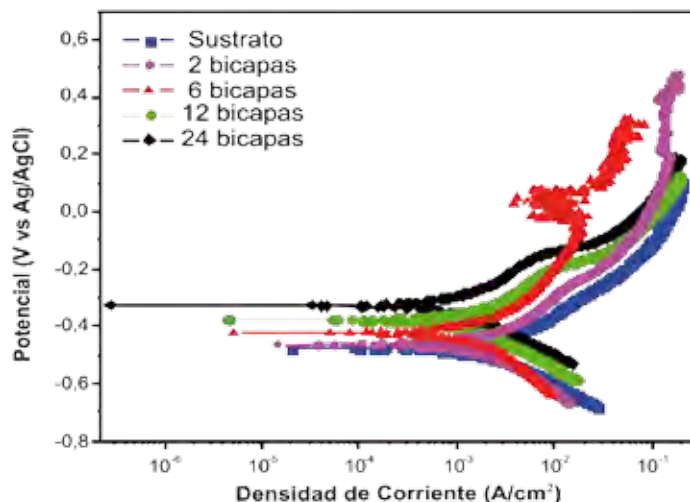


Figura 3. Curvas de polarización Tafel - Corrosión erosión 90°

Cabe resaltar que el aumento del periodo de las bicapas mejora notablemente las propiedades anticorrosivas, justificado en el desplazamiento de las curvas hacia potenciales más positivos, los parámetros que permiten corroborar esta afirmación se muestran en la Tabla 3 con valores más bajos de densidad de corriente de corrosión ( $I_{corr}$ ) que es igual a la corriente de disolución del metal (Bockris, 1978) así como los más bajos valores de velocidad de corrosión para los recubrimientos con mayor número de bicapas.

Al comparar los valores de velocidad de corrosión y de densidad de corriente de corrosión ( $I_{corr}$ ) para los dos ángulos de impacto, se encuentra que son mayores para un ángulo de impacto normal; quizás debido al hecho de que a estos ángulos el electrolito entrega su mayor energía, ocasionando por tanto mayores deterioros en el material que para un ángulo rasante.

#### 4. Conclusiones

Los recubrimientos duros en forma de multicapas de TiN/TiAlN mejoran notablemente el comportamiento a la corrosión erosión del acero AISI 1045, como se mostró en las

Tabla 2. Parámetros calculados a partir de las curvas de polarización Tafel- corrosión erosión 30°

MUESTRA	Velocidad de Corrosión (MPY)	$I_{corr}$ (A)
Sustrato	359,17	8,E-04
2 Bicapas	274,01	6,E-04
6 Bicapas	247,20	5,E-04
12 Bicapas	149,59	3,E-04
24 Bicapas	103,42	2,E-04

Tabla 3. Parámetros calculados a partir de las curvas de polarización Tafel- corrosión erosión 90°.

MUESTRA	Velocidad de Corrosión (MPY)	Icorr (A)
<b>Sustrato</b>	646,28	1,42E-03
<b>2 Bicapas</b>	335,00	7,39E-04
<b>6 Bicapas</b>	260,09	5,73E-04
<b>12 Bicapas</b>	229,17	5,05E-04
<b>24 Bicapas</b>	210,91	4,65E-04

curvas Tafel para los dos ángulos de impacto.

Conforme el periodo de las bicapas de los recubrimientos se prolonga, de la misma manera aumenta la capacidad anti-corrosiva de éstos en condiciones corrosivas erosivas independientemente del ángulo al que se vean expuestos, sin embargo, cabe resaltar que bajo condiciones de ángulo normal se presentan los mayores valores de velocidad de corrosión que para un ángulo rasante para todos los materiales.

Los datos obtenidos en este estudio abren la posibilidad de depositar estos recubrimientos sobre elementos ó dispositivos cuyas superficies estarán en contacto con fluidos corrosivos que transportan partículas, lo que permitiría aumentar el tiempo de vida útil en servicio de estos componentes.

### Bibliografía

Bockris, John. Reddy A. Electroquímica moderna, vol 2, Editorial Reverté S.A. 1978.

<http://corrosion-doctors.org/Forms-Erosion/erosion.htm> [citado en May/09]

J.L. ENDRINO, G.S. FOX-RABINOVICH, C. GEY "Hard Al-TiN, AlCrN PVD coatings for machining of austenitic stainless steel". Surface & Coatings Technology 200. 2006. pp. 6840–6845.

S. MUSHTA. "Study on the structure of nanolayered TiAlN/TiN multilayer PVD hard coatings" Luleå University of Technology. Department of Applied Physics and Mechanical Engineering. Master Thesis.2008.