

COMPORTAMIENTO TRIBOCORROSIVO DEL ACERO AISI 4140 RECUBIERTO CON MONOCAPAS DE HfN

Manuel Mora^{1}, William Aperador², Enrique Vera³, Cesar Amaya⁴*

- 1: Estudiante Maestría en Metalurgia y Ciencia de los Materiales, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia. Docente Fundación Universitaria Juan de Castellanos, Tunja, Colombia
2: Docente, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia
3: Docente, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia
4: Estudiante Doctorado en Ingeniería, Universidad del Valle, Cali, Colombia

* Contacto: manuelmora11@yahoo.es

RESUMEN

Se presenta el estudio tribocorrosivo de monocapas de HfN, depositadas sobre acero AISI 4140 por medio de la técnica de deposición física en fase vapor PVD magnetron sputtering, para tal fin, se realizaron ensayos de tribocorrosión (combinación de desgaste y corrosión en ambiente acuoso) los cuales se llevaron a cabo con un equipo Gamry PCI 4 y un tribómetro tipo pin on disk al cual se le adaptó una celda electroquímica compuesta de tres electrodos, un electrodo de referencia plata cloruro de plata (Ag/AgCl), un contra-electrodo de platino y un electrodo de trabajo (muestras de acero 4140 con y sin recubrimiento), inmersos en una solución de NaCl al 3,5% a temperatura ambiente. La evaluación de los ensayos tribocorrosivos se realizó mediante las técnicas electroquímicas, espectroscopía de impedancia electroquímica (EIS) y curvas de polarización Tafel. En cuanto a los resultados obtenidos, el recubrimiento duro de HfN presentó una mejor resistencia a la polarización y menor coeficiente de fricción que lo reportado por el sustrato; lo que indica una buena resistencia a la corrosión y al desgaste.

Palabras clave: *Tribocorrosión, Técnicas electroquímicas, Nitruro de hafnio*

ABSTRACT

A Tribocorrosion research is presented, monolayers of HfN deposited on AISI 4140 steel using the technique of physical vapor deposition PVD magnetron sputtering. was performed a tribocorrosion test (combined wear and corrosion in an aqueous environment) which is carried out using a PCI 4 Gamry device and a pin on disk tribometer with an electrochemical cell adapted, this cell is conformed for three electrodes, reference (silver - silver chloride - Ag/AgCl), counter (platinum) and working electrode (4140 steel samples with and without coating), immersed in a solution of NaCl 3.5% at room temperature. The evaluation of tribocorrosion tests was performed with electrochemical techniques, electrochemical impedance spectroscopy (EIS) and Tafel polarization curves. Found out that the hard coating of HfN improved the polarization resistance and show lower coefficient of friction than the substrate, which indicates a good resistance to corrosion and wear.

Keywords: *Tribocorrosion, Electrochemical techniques, Hafnium nitride*

1 INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, ha crecido el interés por investigar la acción combinada del desgaste y la corrosión (tribocorrosión) en diferentes materiales con y sin recubrimientos, ya que la inmersión de un material en una solución permite una caracterización real del estado de la superficie de ese material y de su evolución durante las pruebas de fricción [1]. El estado de la superficie puede ser determinado por diferentes técnicas electroquímicas tales como espectroscopia de impedancias electroquímica, curvas de polarización entre otras; dicha información permite identificar las diferentes aplicaciones a las que pueden ser sometidos los materiales en estudio [2], [3]. Por esta razón, con el desarrollo del presente trabajo se quiere contribuir con la evaluación del comportamiento tribocorrosivo del acero 4140 recubierto con monocapas de HfN, dichos recubrimientos según investigaciones realizadas, presentan buenas propiedades entre las que se destacan, alta dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión, alto punto de fusión y buena estabilidad térmica, entre otras [4], [5].

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La preparación de las probetas de acero AISI 4140 y la deposición de los recubrimientos HfN se llevó a cabo, en el laboratorio de recubrimientos duros del Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria del Servicio Nacional de Aprendizaje CDT ASTIN SENA (Cali), mediante la técnica de deposición física en fase vapor magnetrón sputtering DC, con un espesor de recubrimiento de 3 μm ; posteriormente, en el Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencias y Tecnología de los Materiales (INCITEMA) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, con ayuda del tribómetro tipo pin on disk, que consiste de un software diseñado en el lenguaje de programación LabVIEW, como se observa en la figura 1 y a través del cual se controlan los parámetros de entrada del ensayo tales como: distancia recorrida, velocidad, fuerza normal y diámetro de la huella; en respuesta a dichos parámetros, se obtiene la fuerza de fricción y el coeficiente de fricción, mediante el cual se pueden hacer los diferentes estimativos del comportamiento del material frente al desgaste; de igual manera, con la ayuda del equipo GAMRY PCI 4 mediante las técnicas espectroscopia de impedancia electroquímica EIS y curvas de polarización Tafel se efectuaron los ensayos de la sinergia corrosión-desgaste, obteniéndose, la resistencia a la polarización y la velocidad de corrosión. El sistema utilizado se muestra en la figura 2.

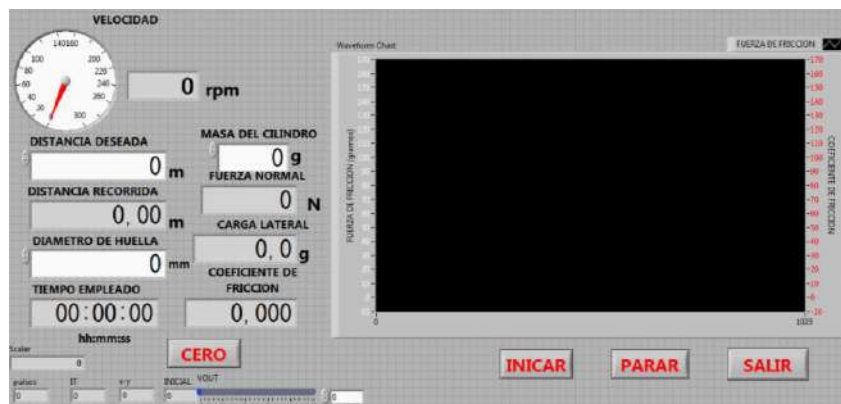


Figura 1. Software diseñado para el control de los ensayos de tribocorrosión.

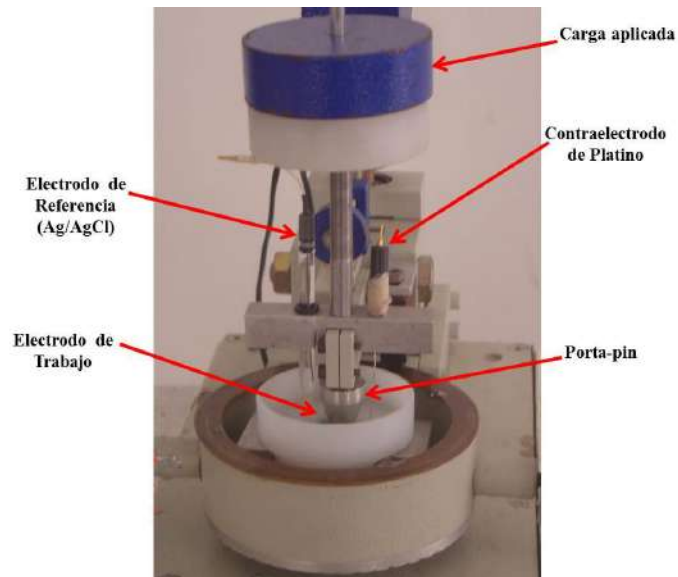


Figura 2. Sistema utilizado para las ensayos de tribocorrosión de los recubrimientos duros HfN depositados sobre acero AISI 4140

2.1 Pruebas de desgaste

Para los ensayos de desgaste se utilizó como pin deslizante una bola de acero 100Cr6 de 6mm de diámetro, una carga de 5N, una longitud de recorrido de 100 m a una velocidad de 4.7 cm/s. En la siguiente figura se presenta los resultados del coeficiente de fricción en función de la distancia de deslizamiento para el acero 4140 con recubrimiento de HfN y sin recubrimiento.

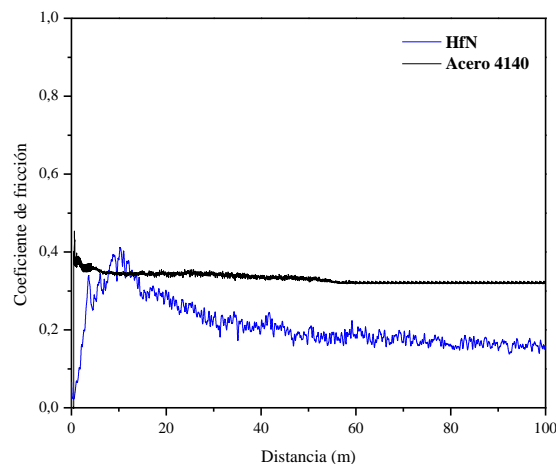


Figura 3. Pruebas de desgaste del acero AISI 4140 con y sin recubrimiento de HfN, sometido a tribocorrosión

En la figura anterior se puede observar que el acero con recubrimiento de HfN, presentó menor coeficiente de fricción (0.15 - 0.2) en comparación con el reportado por el acero sin recubrir (0.3 - 0.4), los bajos coeficientes de fricción se deben al efecto de lubricación que produce la solución de NaCl, entre el pin deslizante y la probeta.

Antes y después de la realización de los ensayos de tribocorrosión, cada una de las probetas fue pesada, con el fin de determinar la tasa de desgaste mediante la pérdida de masa. Estos resultados se observan con mayor detenimiento en la figura 4; en esta se puede apreciar que el acero con recubrimiento de HfN presenta menor pérdida de masa en comparación con el acero sin recubrimiento; corroborándose de esta forma los resultados del coeficiente de fricción en función de la distancia de deslizamiento de la figura 3.

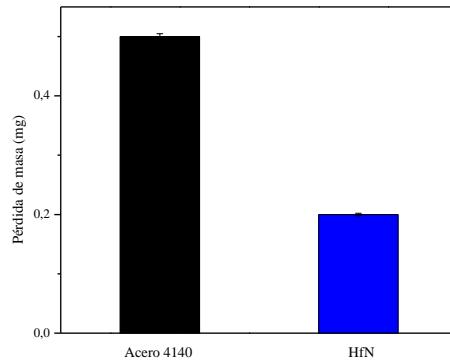


Figura 4. Pérdida de masa resultante del proceso de tribocorrosión del acero AISI 4140 con y sin recubrimiento de HfN

2.2 Espectroscopia de impedancia electroquímica (EIS)

Los ensayos de resistencia a la polarización mediante la técnica EIS se llevaron a cabo en un rango de frecuencias de 100 kHz a 0,1 Hz.

Los diagramas de impedancia (figura 5) proporcionan datos importantes, sobre los pasos elementales que se producen en una reacción electroquímica y su cinética. Además, permiten un estudio a fondo del papel de las especies intermedias adsorbidas en la superficie y de los mecanismos de reacción, así como el estudio de las propiedades de las películas pasivas. Por tal razón, esta técnica es un método interesante para analizar el barrido por fricción sobre las películas adsorbidas o películas pasivas de los materiales [2], [6].

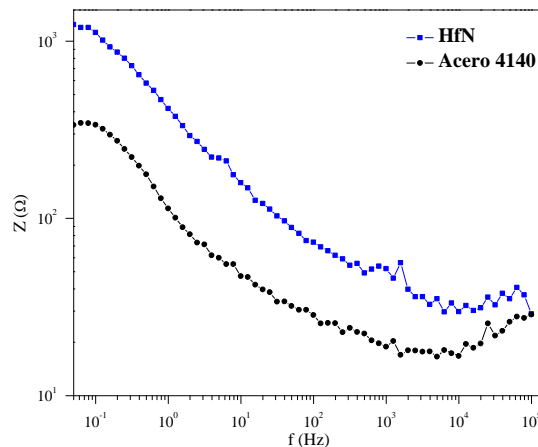


Figura 5. Resultados de resistencia a la polarización del acero AISI 4140 con y sin recubrimiento de HfN, sometido a tribocorrosión

En los diagramas de la figura anterior, se puede observar que el acero con recubrimiento presenta mejor resistencia a la polarización que el acero sin recubrir, indicando de esta forma la buena protección generada por el recubrimiento sobre el sustrato.

2.3 Curvas de polarización Tafel

Esta técnica consiste en la aplicación de un sobrepotencial de $\pm 250\text{mV}$ con respecto al potencial de reposo, obteniéndose como respuesta la gráfica semilogarítmica de la forma $\text{Log } I \text{ vs } V$ (figura 6), el modelo que es usado para los procesos de corrosión asume que las velocidades de los procesos anódico y catódico son controlados por la cinética de las reacciones de transferencia electrónica en la superficie del metal, que es el caso general de las reacciones de corrosión [7].

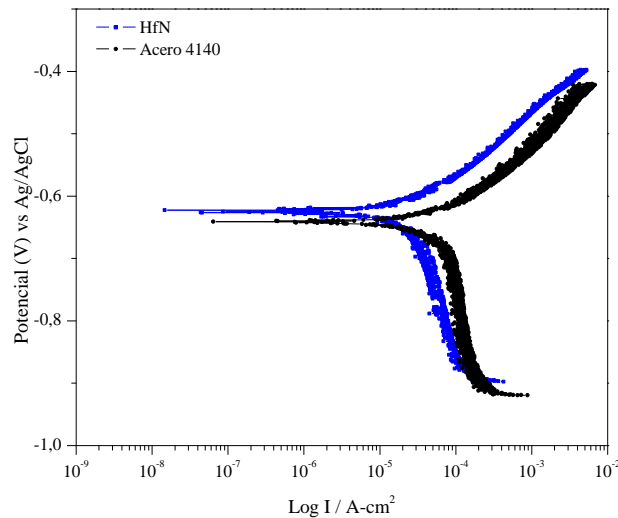


Figura 6. Curvas de Polarización Tafel para el acero 4140 con y sin recubrimiento de HfN, sometido a tribocorrosión

De acuerdo con la gráfica, la curva del recubrimiento tiene un pequeño desplazamiento hacia la izquierda, lo que indica una menor densidad de corriente en comparación con la curva del sustrato; por lo tanto se puede determinar que el recubrimiento monocapa de HfN actuó como una barrera entre la solución y el sustrato, disminuyendo la velocidad de corrosión del material.

A en la siguiente tabla se resumen los resultados de resistencia a la polarización y velocidad de corrosión del acero con recubrimiento monocapa de HfN y sin recubrimiento.

Tabla 1. Resistencia a la polarización y velocidad de corrosión del acero 4140 recubierto con monocapas de HfN y sin recubrir, sometido a tribocorrosión.

Resultados	Acero 4140	HfN
Resistencia a la polarización ($\text{k}\Omega \cdot \text{cm}^2$)	0,34	1,2
Velocidad de corrosión (mpy)	3,2	0,95

3 CONCLUSIONES

Los recubrimientos monocapa HfN le confieren al acero industrial AISI 4140 una buena resistencia a la polarización y una menor velocidad de corrosión, garantizando su utilidad en sistemas mecánicos expuestos a fenómenos tribocorrosivos.

Los resultados de desgaste mostraron que el acero AISI 4140 recubierto con HfN tiene menor coeficiente fricción y por lo tanto una menor pérdida de masa en comparación con el sustrato, convirtiéndose de esta manera, en una buena alternativa como recubrimiento protector de buena resistencia al desgaste.

El comportamiento tribocorrosivo del acero AISI 4140 recubierto con HfN, está influenciado por el aumento en su dureza, la cual se atribuye a que la capa delgada presenta tamaños de grano pequeños con discontinuidad en sus bordes que reducen la formación de defectos.

De acuerdo con los resultados obtenidos, es necesario seguir optimizando el proceso de tribocorrosión utilizado en este trabajo, con el fin de evaluar con mayor exactitud y en tiempo real el comportamiento de diferentes aceros de uso industrial con y sin recubrimiento de HfN, frente a los procesos combinados de corrosión-desgaste.

4 AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al laboratorio de recubrimientos duros del Centro de Desarrollo Tecnológico y Asistencia Técnica a la Industria del Servicio Nacional de Aprendizaje CDT ASTIN SENA (Cali) y al Instituto para la Investigación y la Innovación en Ciencias y Tecnología de los Materiales (INCITEMA) de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el apoyo brindado en la realización del trabajo.

5 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Wood, Robert, "Tribo-corrosion of coatings: a review", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 40, 5502–5521, 2007.
2. Mischler, S., "Triboelectrochemical techniques and interpretation methods in tribocorrosion: A comparative evaluation", *Tribology International*, Vol. 41, 573–583, 2008.
3. Landolt, D., Mischler, S., Stemp, M., "Electrochemical methods in tribocorrosion: a critical appraisal", *Electrochimica Acta*, Vol. 46, 3913–3929, 2001.
4. Berg, G., *et al.*, "Comparison of fundamental properties of r.f.-sputtered TiNx and HfNx coatings on steel substrates", *Surface and Coatings Technology*, 74 75, 135-142, 1995.
5. Escobar, Cesar y Villareal, Marlon, "Obtención y caracterización de recubrimientos de HfN, VN y HfN/VN para su aplicación en la industria metalmecánica", Trabajo de grado, Ingeniería de Materiales, Cali, Universidad del Valle, 2011.
6. Ponthiaux, P., Wenger, F., Drees, D., Celis, J.P., "Electrochemical techniques for studying tribocorrosion processes", *Wear*, 256, 459–468, 2004.
7. Mora, M., et al, "Modelo Cinético Utilizado en el Estudio Electroquímico del Proceso de Corrosión en Medio Acuoso", *Revista Colombiana de Física*, Vol. 41, No. 1, 2009.