

# ESTUDIO DE FRICCIÓN Y DESGASTE DE UN ACERO AISI H13 RECUBIERTO CON TICN

***Virginia Campos Sanabria***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*vickys\_0109@hotmail.com*

***Luis Daniel Aguilera Camacho***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*daniel.aguilera@itcelaya.edu.mx*

***José Alberto Zavala Bustos***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*alberto.zavala@itcelaya.edu.mx*

***J. Santos García Miranda***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*santos.garcía@itcelaya.edu.mx*

***Karla Judith Moreno Bello***

Instituto Tecnológico de Celaya  
*karla.moreno@itcelaya.edu.mx*

## **Resumen**

Se investigó la influencia del lubricante en el comportamiento tribológico de un acero AISI H13 recubierto con carbonitruro de titanio mediante ensayos de fricción en seco y húmedo. Se observó que cuando existe lubricación entre los pares de contacto, el coeficiente de fricción y el factor de desgaste disminuyen en un 75 y 93%, respectivamente. Los mecanismos principales de desgaste en condiciones en seco fueron abrasión y oxidación mientras que en condiciones lubricadas no se aprecia mecanismo alguno. Adicionalmente se determinó la calidad de la adhesión

del recubrimiento al sustrato mediante pruebas de indentación Rockwell resultando en una buena adhesión al no presentar delaminación.

**Palabra(s) Clave(s):** Acero H13, desgaste, fricción, lubricación, TiCN.

## Abstract

*The influence of the lubricant in the tribological behavior of TiCN-coated H13 was investigated by means of dry and lubricated friction tests. It was observed that when lubrication between the contact pairs is present, the friction coefficient and the wear factor decrease by 75 and 93%, respectively. The main mechanisms of wear in dry conditions were abrasion and oxidation, while in lubricated conditions the wear mechanisms were no visible. In addition, the quality of the adhesion of the coating to the substrate was determined by Rockwell indentation tests resulting in a good adhesion because no delamination was present.*

**Keywords:** Friction, H13 steel, lubrication, TiCN, wear.

## 1. Introducción

Los procesos de manufactura destinados al conformado de metales son cada vez más exigentes por lo que los herramientas utilizados están sometidos a constante desgaste severo, esfuerzos térmicos y mecánicos. Debido a que el desgaste de partes de maquinaria y herramientas tiene influencia directa en la productividad, eficiencia, confiabilidad y calidad de los productos manufacturados [1], se han desarrollado procesos de modificación superficial tales como el proceso de nitrurado y la deposición física de vapor (PVD) para mejorar las propiedades tales como dureza, resistencia al desgaste, fatiga y fricción [2-4]. En ese sentido, los recubrimientos de carbonitruro de titanio (TiCN) son recubrimientos que combinan alta dureza y bajo coeficiente de fricción de las fases del carburo de titanio (TiC) y alta tenacidad de las fases del nitruro de titanio (TiN) [5-8]. Estas propiedades únicas hacen de los recubrimientos de carbonitruro de titanio (TiCN) una buena solución para aplicaciones que requieren de altas resistencias a la abrasión y al desgaste, como en aplicaciones tribológicas [9]. Debido a la importancia que representa el desgaste de los herramientas dentro de la industria, se han realizado

investigaciones, a través de ensayos de fricción y desgaste, a sustratos de acero H13 recubierto con carbonitruro de titanio (TiCN) utilizando como contraparte un acero al bajo carbono, concluyendo que parámetros como el tiempo y temperatura de deposición influyen de manera importante en la resistencia al desgaste [10]. Otros investigadores concluyen que partículas de TiCN sobre aceros rápidos mejoran su resistencia al desgaste y que los factores de desgaste disminuyen con el incremento de carbono en las partículas de TiCN [11]. En ese mismo sentido, se han estudiado recubrimientos de TiCN con diferentes contenidos de carbono sobre sustratos de acero inoxidable 440 mostrando que no hay cambio significativo en el coeficiente de fricción del tribo-sistema cuando el contenido de carbono en los recubrimientos de carbonitruro de titanio es inferior a 4.6 %, pero con el aumento del contenido de carbono se observa la disminución del coeficiente de fricción [12]. Shan y colaboradores [13] investigaron el desempeño tribológico de capas de TiN y TiCN en diferentes medios tales como aire, agua destilada y agua de mar resultando en menores coeficientes de fricción en húmedo debido a la capa lubricante entre el recubrimiento y su contraparte así como un mayor factor de desgaste en agua de mar debido al efecto destructivo del cloro sobre los recubrimientos.

El objetivo principal de este trabajo fue evaluar el desempeño de fricción y desgaste de un acero H13 recubierto con TiCN, en condiciones secas y lubricadas, con la finalidad de observar la influencia del lubricante en el proceso de fricción y desgaste. Para éste propósito, primero se analizó la adhesión del recubrimiento de TiCN al sustrato de acero H13 mediante pruebas de adhesión por indentación. El comportamiento tribológico en seco y lubricado fue investigado utilizando el método de bola en disco. Se obtuvo el coeficiente de fricción y se calcularon tanto el volumen perdido como el factor de desgaste. Los mecanismos de desgaste presentes se determinaron mediante la observación de las huellas de desgaste.

## **2. Métodos**

Se utilizó acero AISI H13 con una composición química de: 0.40 %C; 4.85 %Cr; 0.49 %Mn; 1.25 %Mo; 1.08 %Si y 0.91 %V y el resto Fe. Se fabricaron probetas de 25 mm de diámetro y 5 mm de espesor, mismas que fueron recubiertas con

carbonitruro de titanio (TiCN) por un proveedor especializado en tratamientos superficiales.

Para verificar la calidad de la adherencia del recubrimiento al sustrato se realizaron ensayos de dureza Rockwell D de acuerdo a la norma BSI 1071-8 [14], utilizando una carga de 981 N.

Los ensayos de fricción se llevaron a cabo en un tribómetro mediante el método de bola en disco en condiciones en seco a temperatura controlada de 25°C y lubricadas usando un lubricante de aceite base-grafito a una temperatura de 100°C. Como contraparte se utilizó una bola de 6 mm de diámetro de carburo de tungsteno (WC) con una microdureza, rugosidad y módulo de elasticidad de 1370 (HV0.5), 0.02 µm y 670 GPa, respectivamente. La carga normal aplicada fue de 10 N, con una velocidad de deslizamiento de 2.5 cm/s y una distancia total de deslizamiento de 1000 m.

El coeficiente de fricción se obtuvo directamente del programa con que cuenta el tribómetro. El volumen perdido de material (V) se calculó de acuerdo a la norma ASTM G99-05 [15] asumiendo que no existe desgaste significativo de la bola (contraparte), ecuación 1.

$$V = 2\pi R \left[ r^2 \sin^{-1} \left( \frac{d}{2r} \right) - \left( \frac{d}{4} \right)^2 \sqrt{4r^2 - d^2} \right] \quad (1)$$

Donde R es el radio de la huella de desgaste, r es el radio de la bola y d es el ancho de la huella. Los anchos de huella y los mecanismos de desgaste se determinaron mediante análisis de imágenes utilizando un microscopio óptico. El factor de desgaste se calculó mediante ecuación 2 [16].

$$k = \frac{V}{FS} \quad (2)$$

Donde el volumen perdido (V) es proporcional a la carga normal aplicada (F) y la distancia de deslizamiento (S).

### 3. Resultados

En la figura 1, se muestra la huella característica del ensayo de indentación sobre el acero recubierto de TiCN. Se observan algunas grietas radiales no mayores a 150  $\mu\text{m}$  y no se observa delaminación del recubrimiento alrededor de la huella.

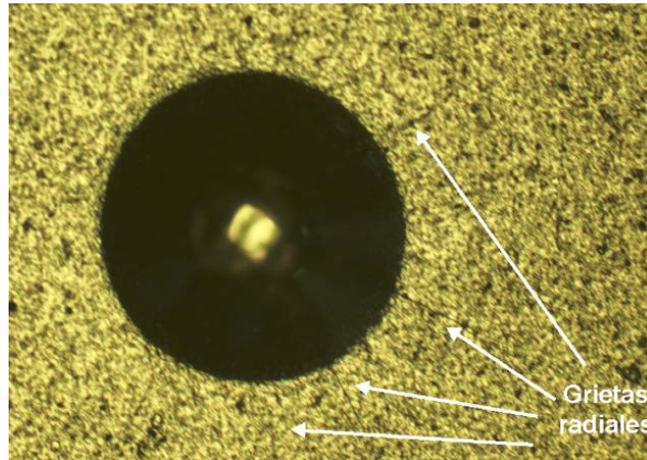


Figura 1 Huella del ensayo de indentación Rockwell D.

La figura 2 muestra la evolución del coeficiente de fricción como función de la distancia de deslizamiento para las muestras tanto en seco como lubricado. En condiciones secas, al inicio del ensayo el valor del coeficiente es aproximadamente 0.45 con tendencia a disminuir durante los primeros 300 m donde se obtuvo un coeficiente ligeramente mayor a 0.2. Justo a los 300 m se presenta un incremento repentino de hasta 300% donde a partir de ahí se observa un comportamiento muy irregular durante el resto de la distancia de deslizamiento siempre con tendencia a aumentar teniendo como promedio 0.468. Por otro lado, en condiciones lubricadas se tiene un comportamiento bastante estable alcanzándose un coeficiente de fricción promedio de 0.116.

Las figuras 3a y 3b muestran los anchos de huella de las probetas recubiertas en TiCN con valores de 499  $\mu\text{m}$  y 189  $\mu\text{m}$ , para condiciones en seco y lubricado, respectivamente. Una vez medidos los anchos de huella, se calcularon los volúmenes perdidos de material y los factores de desgaste con las ecuaciones 1 y

2, respectivamente, mismos que se presentan en la tabla 1, así mismo también se tabulan los coeficientes de fricción, con sus respectivas desviaciones estándar.

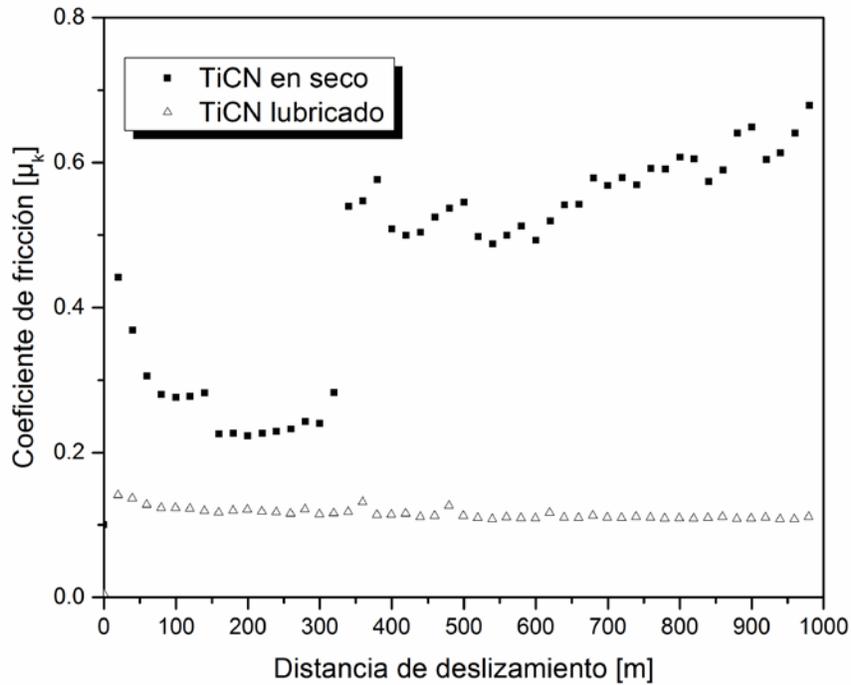


Figura 2 Coeficiente de fricción de acero H13 recubierto con TiCN en seco y lubricado.

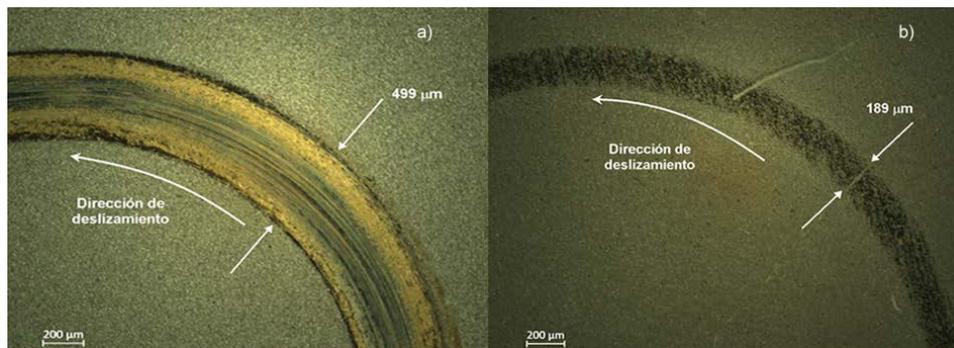


Figura 3 Micrografías ópticas (50X) de los anchos de la huella: a) seco y b) lubricado.

Tabla 1 Propiedades del acero TiCN en condiciones secas y lubricadas.

| Condición | $\mu_k$       | V [mm <sup>3</sup> ] ( X 10 <sup>-4</sup> ) | K [mm <sup>3</sup> /Nm] ( X 10 <sup>-8</sup> ) |
|-----------|---------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------|
| Seca      | 0.468 ± 0.146 | 438.51 ± 72                                 | 438.51 ± 72                                    |
| Lubricada | 0.116 ± 0.010 | 28.78 ± 10.8                                | 28.78 ± 10.8                                   |

La figura 4a muestra las superficies desgastadas en condiciones en seco donde puede apreciarse un desgaste abrasivo manifestado en forma de surcos en dirección del deslizamiento. También se observan pequeñas zonas donde ocurrió un descascaramiento. Los surcos de colores café y azul fueron propiciados por la oxidación de la superficie. Por otro lado, en la figura 4b, la huella de desgaste se observa demasiado tenue y no es posible apreciar ningún mecanismo de desgaste.

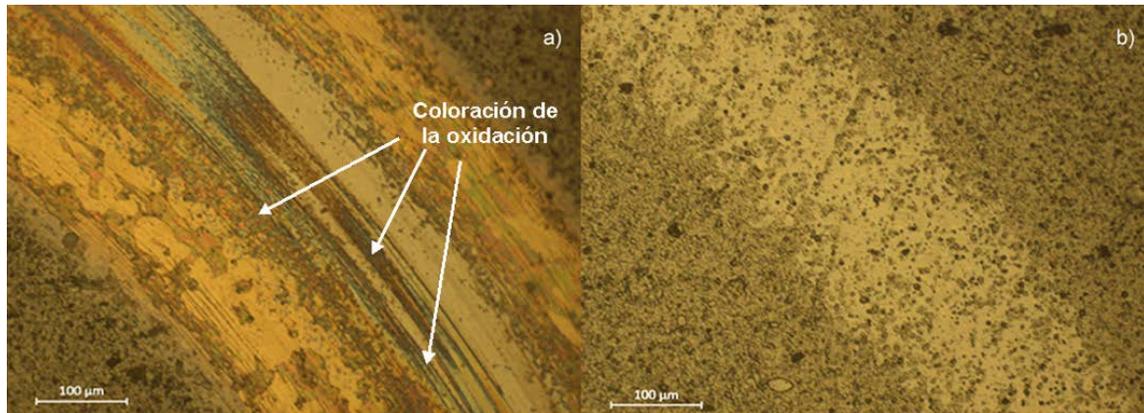


Figura 4 Micrografías ópticas (200X) superficies desgastadas: a) seco y b) lubricado.

#### 4. Discusión

A pesar de presentarse grietas en el recubrimiento, tal y como se observa en la figura 1, no existen señales de delaminación alguna por lo que de acuerdo a la norma BSI 1071-8, la adhesión del recubrimiento al sustrato es de clase 1, lo cual significa una buena adhesión. Este comportamiento se debe a que la diferencia en durezas entre el sustrato y el recubrimiento no es grande.

Por otro lado, la diferencia en valores del coeficiente de fricción, en seco y lubricado, se debe a la acción del lubricante que absorbe parte de la carga y transfiere las partículas de desgaste fuera de la zona de contacto haciendo que el coeficiente de fricción y el ancho de la huella, y por consecuencia el factor de desgaste, disminuyan en un 75 y 93%, respectivamente, ver tabla 1.

Finalmente, en el ensayo de fricción en seco se observan como mecanismos principales la abrasión, en forma de surcos, y la oxidación de la superficie, que se manifiesta con surcos de colores, debido a la interacción que existe interacción entre

la superficie de la probeta y el ambiente. Los cambios de coloración en la superficie desgastada es indicio de oxidación progresiva por el incremento de temperatura debido a la fricción a lo largo de la prueba. En la superficie del ensayo lubricado, figura 4b, no se observa ningún tipo de mecanismo de desgaste lo que sugiere que el lubricante cumplió la función tanto de disminuir la fricción entre los pares en contacto así como también disminuir el desgaste. El comportamiento de recubrimientos de TiCN en condiciones lubricadas, con agua y agua de mar, ya ha sido estudiado teniendo resultados similares en cuanto a la disminución del coeficiente de fricción [13].

Como conclusión puede establecerse que el uso de lubricante en el ensayo permite incrementar la vida útil del material, al disminuir el coeficiente de fricción y el factor de desgaste. Sería adecuado realizar nuevos ensayos en condiciones lubricadas variando parámetros como la distancia de deslizamiento, la velocidad de deslizamiento así como la carga aplicada para observar el efecto en la fricción y desgaste y determinar el comparativo del recubrimiento bajo esas circunstancias.

## **5. Bibliografía y Referencias**

- [1] Bressan, J.D., Hesse, R., Silva Jr., E.M. (2001). Abrasive wear behavior of high speed steel and hard metal coated with TiAlN and TiCN. *Wear*, Vol. 250, pp.561-568.
- [2] Wang, J., Xiong, J., Peng, Q., Fan, H., Wang, Y., Li, G., Shen, B. (2001). Effects of DC plasma nitriding parameters on microstructure and properties of 304L stainless steel. *Mater. Charact.*, Vol. 60, pp.197–203.
- [3] Feng, H.P., Hsu, C.H., Lu, J.K., Shy, Y.H. (2003). Effect of PVD sputtered coatings on the corrosion resistance of AISI 304 stainless steel. *Mater. Sci. Eng.*, Vol.347, pp.123–129.
- [4] Surviliene, S., Bellozor, S., Kurtinaitiene, M., Safonov, V.A. (2004). Protective properties of the chromium–titanium carbonitride composite coatings. *Surf. Coat. Technol.* Vol. 176, pp.193–201.

- [5] Knotek, O., Loffler, F., Kramer, G. (1993). Deposition, properties and performance behavior of carbide and carbonitride. *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 61, pp.320-325.
- [6] Guu, Y.Y., Lin, J.F. (1997). Analysis of wear behaviour of titanium carbonitride coatings. *Wear*, Vol. 210, pp.245-254.
- [7] Hsieh, J.H., Tan, A.L.K., Zeng, X.T. (2006). Oxidation and wear behaviors of Ti-based thin films. *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 201, pp.4094-4098.
- [8] Bergmann, E., Kaufmann, H., Schmid, R., Vogel, J. (1990). Ion-plated titanium carbonitride films. *Surf. Coat. Technol.*, Vol. 42, pp.237-251.
- [9] Wei, C., Lin, J.F., Jiang, T.H., Ai, C. F. (2001). Tribological characteristics of titanium nitride and titanium carbonitride multilayer films: Part II. The effect of coating sequence on tribological properties. *Thin Solid Films*, Vol. 381, pp.104-118.
- [10] Wang, H.L., He, J.L., Hon, M.H. (1993). Sliding wear resistance of TiCN coating on tool steel made by plasma-enhanced chemical vapour deposition. *Wear*, Vol. 169, pp.195-200.
- [11] Velasco, F., Gordo, E., Isabel, R., Ruiz-Navas, E.M., Bautista, A., Torralba, J.M. (2001). Mechanical and wear behavior of high-speed steels reinforced with TiCN particles. *International Journal of Refractory Metals & Hard Materials*, Vol. 19, pp.319-323.
- [12] Cheng, Y.H., Browne, T., Heckerman, B., Meletis, E.I. (2011). Influence of the C content on the mechanical and tribological properties of the TiCN coatings deposited by LAFAD technique. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 205, pp.4024-4029.
- [13] Shan, L., Wang, Y., Li, J., Li, H., Wu, X., Chen, J. (2013). Tribological behaviours of PVD TiN and TiCN coatings in artificial seawater. *Surface & Coatings Technology*, Vol. 226, pp.40-50.
- [14] CEN/TS 1071-8 Advanced technical ceramics – Methods of test for ceramic coatings – Part 8: Rockwell indentation test for evaluation of adhesion, British Standards (2004).

- [15] Standard test method for wear testing with a pin-on disk apparatus, G99-05, American Society for Testing and Materials (2005).
- [16] Holmberg, K. y Matthews, A. (2009). *Coatings Tribology: Properties, Mechanisms, Techniques and Applications in Surface Engineering*. Great Britain: Elsevier.