



RAYADO SOBRE ACERO SAE 4140 RECUBIERTO CON TiN. INFLUENCIA DEL NITRURADO IÓNICO PREVIO.

**Alejo D. Mandri^{(1)*}, Massimo N. Ucellini⁽²⁾, Ricardo C. Dommarco⁽¹⁾
y Sonia P. Brühl⁽²⁾**

(1) Grupo Tribología – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Mar del Plata
INTEMA – CONICET, Juan B. Justo 4302, B7608FDQ Mar del Plata, Argentina.

(2) Grupo de Ingeniería de Superficies, Fac. Reg. Concepción del Uruguay,
Universidad Tecnológica Nacional (FRCU-UTN),
Ing. Pereira 676, E3264BTD Concepción del Uruguay, Argentina.

* Correo Electrónico: alejomandri@fi.mdp.edu.ar

En este trabajo, se estudió el desempeño de probetas de acero SAE 4140 con diferentes combinaciones de tratamiento, a través de ensayos de indentación y rayado. Sobre un primer grupo de probetas se aplicó un recubrimiento de TiN, mientras que el otro grupo fue nitrurado por plasma en primer lugar y luego recibió el recubrimiento.

La adherencia de los recubrimientos, evaluada a través de las indentaciones, resultó ser igualmente buena para ambos grupos de muestras, en tanto que la resistencia al rayado, resultó superior para las muestras con nitrurado iónico.

Los recubrimientos duros son cada vez más utilizados en elementos mecánicos que requieran resistencia al rayado (abrasión fina y de baja presión) y al desgaste en general, así como una reducción de la fricción. Una técnica de aplicación es la deposición física de vapor (PVD), que por ejemplo, permite depositar un recubrimiento de nitruro de titanio (TiN) sobre una gran variedad de sustratos, con diferentes composiciones químicas, características microestructurales y topográficas. En particular, los recubrimientos aplicados sobre aceros, evitan el contacto metal-metal, minimizando la tendencia a la adhesión y, además, gracias a su elevada dureza, también proveen muy buena resistencia al rayado. Tanto la resistencia del recubrimiento, como la de la interfaz que conforma con el sustrato, son de gran importancia, y pueden ser caracterizadas por diversos métodos [1-3]. Sin embargo, en sustratos metálicos, además del tipo de fuerzas interatómicas presentes en la interfaz, las cargas críticas encontradas en el ensayo de rayado, dependen significativamente de la capacidad de carga del sustrato (dureza) [4].

En este trabajo, se estudió el desempeño de probetas de acero con diferentes combinaciones de tratamientos superficiales, a través de ensayos de indentación y rayado.

Probetas de acero SAE 4140 fueron mecanizadas en forma de discos de 25 mm de diámetro y 6 mm de espesor. Las mismas fueron templadas en aceite a temperatura ambiente y revenidas a 520 °C durante 2 horas. Las superficies planas fueron rectificadas con piedra y terminadas manualmente con lija de grano 600. Posteriormente se dividieron en dos grupos, P1 y P2, que recibieron distintos tratamientos superficiales. Sobre ambos se depositó un recubrimiento de TiN por PVD, pero el grupo P2 fue previamente endurecido mediante nitruración iónica. Para el estudio de los sustratos, se preservaron ejemplares sin recubrir, denominados S1 y S2. En la Tabla 1 se resume la identificación adoptada de acuerdo al material estudiado.

Identificación	Tratamiento superficial	Material base
P1	Recubrimiento de TiN por PVD	Acero SAE 4140 Templado y Revenido
P2	Nitruración iónica + recubrimiento de TiN por PVD	
S1	Sin tratamiento superficial	
S2	Nitruración iónica	

Tabla 1: Identificación y tratamientos de las muestras.

Los procesos de nitruración iónica fueron realizados por la empresa IONAR S.A., y los recubrimientos de TiN, mediante PVD, por la empresa SUDOSILO S.A., en reactores industriales.

Se midió dureza por el método Rockwell, escala C. El espesor de recubrimiento fue medido por el método de abrasión esférica Calotest. Los resultados fueron complementados observando las secciones transversales al microscopio óptico.

La dureza y el módulo elástico de las superficies se determinaron a través de ensayos de nano indentación instrumentada, con cargas de 6000 μN utilizando un indentador Berkovich. Adicionalmente, se realizaron ensayos de nano-rayado sobre los sustratos sin recubrir, a carga constante de 9500 μN con un indentador cónico de diamante, con ángulo de 90° y radio de punta de 200 μm .

Para evaluar la adhesividad del recubrimientos, se realizaron ensayos de indentación según la norma VDI 3198 y ensayos de rayado, ambos con un indentador Rockwell C de punta cónica de diamante con un ángulo de 120° y 200 μm de radio. En los ensayos de indentación se aplicó una carga de 150 kg, mientras que los ensayos de rayado se hicieron a carga constante con un equipo construido en la FRCU de la UTN, con incrementos discretos hasta alcanzar el valor crítico que produce el desprendimiento.

Las observaciones microscópicas revelaron la formación de capa de compuestos en las muestras nitruradas (capa blanca). En la Tabla 2 se listan los valores de dureza HRC, espesores de los tratamientos, y dureza y módulo medidos por nano-indentación. En la Figura 1 se observan los surcos resultantes de los ensayos de nano-rayado sobre los sustratos, en donde se aprecia una mayor deformación para el grupo S1.

Grupo	HRC (σ)	Espesor [μm]		Nano indentación - Berkovich, 6000 μN		
		Recub. de TiN	Capa blanca	Módulo Elástico (σ) [GPa]	Dureza (σ) [GPa]	Prof. de impronta [μm]
P1	35,8 (1,2)	0,75	-	255,4 (16,1)	25,7 (3,4)	0,073
P2	41,6 (0,8)	0,75	5	194,8 (17,0)	19,1 (3,1)	0,090
S1	43,9 (1,9)	-	-	191,1 (9,1)	7,3 (0,7)	0,170
S2	41,3 (0,6)	-	5	184,1 (18,2)	11,7 (1,9)	0,127

Tabla 2: Algunas características y propiedades de cada grupo de muestras.

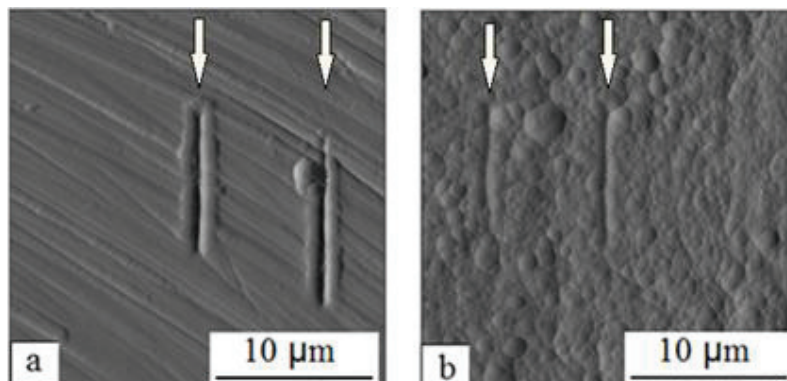


Figura 1: Surcos de nano-rayado sobre los sustratos, a) S1, b) S2.

En los ensayos de indentación no se observó ninguna delaminación en la vecindad de las improntas que diera indicios de una pobre adhesión sustrato – recubrimiento, en ninguno de los dos grupos recubiertos, P1 y P2.

En los ensayos de rayado se mostró más resistente la combinación de tratamientos del grupo P2 (cuyo sustrato fue nitrurado), y esto puede observarse en las imágenes de la Figura 2. El grupo P1 comenzó a experimentar fractura y desprendimiento del recubrimiento por fuera de los límites del surco para cargas de 35 N en adelante, Fig. 2 a) y b), mientras que el grupo P2 se mantuvo íntegro hasta los 60 N sufriendo daño con cargas superiores a 70 N, Fig. 2 c) y d).

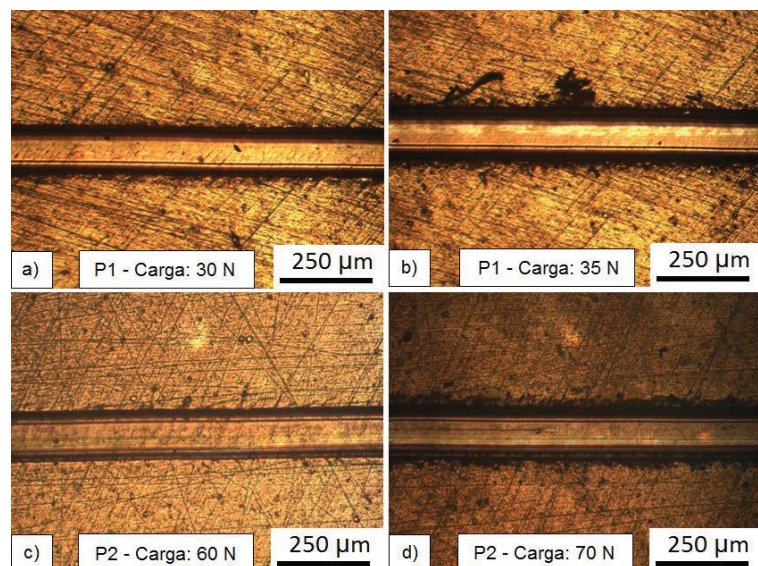


Figura 2: Surcos producidos en los ensayos de rayado.

Los ensayos de indentación Rockwell C mostraron en ambas variantes de material una adherencia aceptable del recubrimiento según la norma mencionada previamente.

Las probetas con nitruración iónica previa a la deposición del recubrimiento de TiN por PVD adquirieron superior resistencia al rayado, incrementando el valor de carga necesaria para ocasionar desprendimientos.

Los aumentos de dureza y módulo elástico del sustrato, mejoraron el gradiente de propiedades y el soporte del recubrimiento, reduciendo la cantidad de deformación plástica en los surcos, en favor de la integridad de la interfaz.

Agradecimientos: Los realizadores de este trabajo agradecen al Ing. Jorge Halabi y la empresa SUDOSILO S.A., y al Dr. Amado Cabo y la empresa IONAR S.A. por haber realizado los tratamientos superficiales a la totalidad de las probetas y también por su aporte en la discusión de resultados.

Referencias

- [1] ASTM INTERNATIONAL, "Standard Test Method for Adhesion Strength and Mechanical Failure Modes of Ceramic Coatings by Quantitative Single Point Scratch Testing", Designation: C 1624-05, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 2011
- [2] ASTM INTERNATIONAL, "Standard Test Method for Pull-Off Strength of Coatings Using Portable Adhesion Testers", Designation: D 4541-02, West Conshohocken, PA, 19428-2959 USA, 2002.
- [3] N. Vidakis, A. Antoniadis, N. Bilalis, The VDI 3198 indentation test evaluation of a reliable qualitative control for layered compounds, Journal of Materials Processing Technology V. 143-144, 2003, 481-485.
- [4] S. Sveen, J.M. Andersson, Scratch adhesion characteristics of PVD TiAlN deposited on high speed steel, cemented carbide and PCBN substrates, Wear 308, 2013, 133 - 141.