

FATIGA DE CONTACTO POR RODADURA SOBRE UN ACERO SAE 4140, CON DISTINTAS COMBINACIONES DE TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Alejo D. Mandri⁽¹⁾, Diego A. Colombo⁽¹⁾, Ricardo C. Dommarco⁽¹⁾, Sonia P. Brühl⁽²⁾

⁽¹⁾ Grupo Tribología – Facultad de Ingeniería – Universidad Nacional de Mar del Plata INTEMA – CONICET, Mar del Plata, Argentina.

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

*Correo Electrónico (autor de contacto): alejmandri@fi.mdp.edu.ar

1. RESUMEN

Desde hace décadas, el fenómeno de fatiga de contacto por rodadura (FCR) ha ganado atención en los ámbitos de la industria y la investigación en ciencia de los materiales, dada la frecuencia con que puede presentarse y la magnitud de los posibles daños asociados. Se trata de un mecanismo de desgaste que tiene lugar en elementos de máquina sometidos a cargas de contacto cíclicas y concentradas, y su probabilidad de ocurrencia se incrementa enormemente cuando las condiciones de lubricación no son las óptimas, produciéndose el contacto entre las micro asperezas de ambas superficies. Cuando ello ocurre, opera el modo de falla superficial temprano, que puede combatirse con el uso de tratamientos superficiales que retardan la nucleación de fisuras. Diversos trabajos de investigación han encontrado mejoras en la vida a la FCR de aceros y otras aleaciones, al ser recubiertos con películas delgadas y duras, depositadas por métodos como PVD y CVD [1]. A su vez, numerosas publicaciones muestran que el uso de tratamientos dúplex, que combinan una modificación superficial del sustrato con la deposición de un recubrimiento duro, pueden mejorar el comportamiento tribológico de los componentes, reduciendo el salto de propiedades entre sustrato y recubrimiento [2].

El objetivo del presente trabajo ha sido estudiar el comportamiento tribológico de un acero SAE 4140, con distintas combinaciones de tratamientos superficiales, haciendo foco en el desgaste por fatiga de contacto por rodadura (FCR) en condiciones que promuevan el modo superficial temprano de falla. Para ello fueron mecanizadas probetas de acero SAE 4140, en forma de discos de 63 mm de diámetro y 10 mm de espesor, a partir de una barra redonda comercial. Las probetas fueron sometidas a temple y revenido. Se austenizó en horno mufla a 850 °C durante 2 horas con protección sólida (carbonilla y carbonato de Bario), enfriando con posterioridad en una batea con aceite para temple a temperatura ambiente. Posteriormente fueron revenidas a 520 °C durante 2 horas. Las superficies planas fueron rectificadas con una rectificadora tangencial, y terminadas manualmente con lijas al agua de granulometría sucesivamente más fina, eliminándose las marcas del mecanizado previo, hasta alcanzar un grano 600. Posteriormente fueron identificadas en tres grupos (G1, G2, G3) destinados a recibir distintos tratamientos:

G1: Nitruración iónica;

G2: Nitruración iónica y posterior recubrimiento de TiN aplicado por PVD;

G3: Recubrimiento de TiN aplicado por PVD.

Los grupos 1 y 2 fueron nitrurados por la empresa IONAR S.A., y los grupos 2 y 3, fueron recubiertos por la empresa SUDOSILO S.A.

Los ensayos para evaluar la resistencia a la FCR se realizaron con una máquina tipo arandela plana, en la cual una probeta en forma de disco gira sobre un conjunto de bolillas

correspondientes a un rodamiento de empuje axial, bajo la acción de una carga normal. En cada punto o área de contacto, se origina una distribución de presión (normal a la superficie) con un valor máximo, p_0 , de acuerdo con la teoría de contacto lineal elástica de Hertz. Los ensayos corrieron hasta desarrollarse un cráter o producirse un desprendimiento de recubrimiento, de dimensión semejante al ancho del camino de rodadura (CR), registrándose la cantidad de ciclos de carga transcurridos hasta entonces.

En la tabla 1 se reportan para cada variante de material, la dureza medida por micro indentación, la rugosidad superficial, la profundidad de los tratamientos, el módulo elástico en superficie y la dureza medidos por nano indentación, el valor del cociente H/E, que según muestran otros trabajos se relaciona bien con la resistencia al desgaste [3] y el factor L_{10} que caracteriza la vida a la FCR.

Las probetas del grupo 1 (nitrurado) no presentaron falla después de 200×10^6 ciclos de carga, en contraste con lo observado en los otros dos grupos. El grupo 2 (nitrurado y recubierto con TiN) sufrió el desprendimiento del recubrimiento a pocas horas de ensayo, los que fueron finalizados cuando la zona desprendida alcanzó el ancho del CR, y su duración media fue de $2,95 \times 10^6$ ciclos. El grupo 3 (sólo recubierto con TiN) mostró deformación plástica a lo largo del CR, debido a la menor dureza de sustrato, y la formación de cráteres, con una duración media de $87,6 \times 10^6$ ciclos. A partir de los resultados, otras combinaciones de tratamiento pueden sugerirse, para ser comparadas con las probetas de G1 (sólo nitruradas) en ensayos de mayor carga que aceleren la falla. El uso de una nitruración iónica sin capa blanca, y un posterior recubrimiento de TiN, podrían mejorar la capacidad de carga del sustrato respecto de la observada en G3, y a su vez conservar una buena adherencia sustrato/recubrimiento, a diferencia de lo observado en G2.

Tabla 1. Características de cada variante de material y vida a la FCR (L^{10}).

Grupo	Micro indentation Vickers Carga = 0,49 N	$Ra \pm \sigma$ [μm]	Profundidad / espesor de tratamiento [μm]			Nano indentación Berkovich. Control por desplazamiento (Prof. = 0,065 μm)			Vida FCR L_{10} [ciclos]
	Dureza $\pm \sigma$ [GPa]		Capa nitrurada	Capa blanca	Recub. de TiN	Mod. Elást. $\pm \sigma$ [GPa]	Dureza $\pm \sigma$ [GPa]	H/E	
G1	$8,2 \pm 0,7$	$0,179$ $\pm 0,036$	325	5	-	$161,7$ $\pm 17,9$	$7,7$ $\pm 1,2$	$0,048$	$\gg G3$
G2	$7,6 \pm 0,5$	$0,169$ $\pm 0,027$	325	5	0,7	$271,0$ $\pm 27,5$	$26,0$ $\pm 5,3$	$0,096$	$0,5 \times 10^6$
G3	$5,1 \pm 0,5$	$0,163$ $\pm 0,008$	-	-	0,7	$263,3$ $\pm 29,0$	$24,0$ $\pm 5,5$	$0,091$	25×10^6

2. REFERENCIAS

1. Stewart S., Ahmed R. Rolling contact fatigue of surface coatings—a review. *Wear* 2002;253:1132–44. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(02\)00234-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(02)00234-X).
2. Podgornik B, Vižintin J, Wänstrand O, Larsson M, Hogmark S, Ronkainen H, et al. Tribological properties of plasma nitrided and hard coated AISI 4140 steel. *Wear* 2001;249:254–9. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(01\)00564-6](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(01)00564-6).
3. Huang X, Etsion I, Shao T. Effects of elastic modulus mismatch between coating and substrate on the friction and wear properties of TiN and TiAlN coating systems. *Wear* 2015;338–339:54–61. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2015.05.016>.