

## Caracterización de la fricción cuando se combinan el texturado laser y lubricantes de grafito base agua

D. Martinez Kraemer <sup>(1)</sup>, A. Sánchez Egea <sup>(2)</sup>, V. Martynenko <sup>(1)</sup>

dmartinez@inti.gob.ar

<sup>(1)</sup> Departamento de Procesos de Mecanizado y Conformado, INTI-Mecánica

<sup>(2)</sup> Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España

Palabras Clave: grafito; fricción; pin-on disk; texturado laser

### INTRODUCCIÓN

El proceso de forja en caliente en matriz cerrada es el proceso ideal para producir piezas cuyas condiciones de servicio sean exigentes en términos de las cargas a las que se encuentran sometidas y a su variabilidad. Si bien se realiza en caliente para reducir la resistencia del material, facilitar el flujo dentro de la matriz y proporcionar un material con una ductilidad casi ilimitada, tanto las fuerzas como la fricción entre material y matriz son elevadas, produciendo un régimen de lubricación de borde por rotura parcial de la película lubricante, afectando la duración de la matriz [1]

Entonces, para mejorar esta situación, y dado el incesante desarrollo de las aplicaciones de grabado mediante laser de fibra, y la existencia de máquinas-herramienta híbridas, se abre la posibilidad de producir superficies texturadas [2] sobre aquellas áreas de las matrices sometidas a mayor desgaste. Las microcavidades generadas por el láser pueden hacer tanto de reservorio de lubricante, reduciendo el desgaste adhesivo, como de receptores de partículas que se van desprendiendo de las partes durante el proceso (matriz-pieza), disminuyendo también el desgaste abrasivo [3].

### OBJETIVOS

- ✓ Caracterizar el comportamiento frente a la fricción de tres grafitos de distinto origen.
- ✓ Elegir aquel que produjo la menor fricción.
- ✓ Trazar a partir de ensayos pin on disk las curvas de fricción para texturas de distintas densidades y los diagramas de Stribeck para discos de superficie rectificada y con densidad del 50%.

### DESARROLLO

Para la caracterización de los tres grafitos (designados A, B y C), se utilizó un microscopio electrónico de barrido (FEI QUANTA 250 FEG), para determinar el tamaño de las partículas de

grafito. Además, las propiedades reológicas se evaluaron con un reómetro (Anton Paar Physica: MCR301) para estimar la viscosidad.

Para los ensayos pin-on disk se utilizaron discos de acero AISI H13 templados y revenidos a 52 HRC (acero y dureza típica de una matriz para forja en caliente), con sus caras planas rectificadas en una rectificadora tangencial utilizando una muela abrasiva fina código A46H10V, en tanto que los pines de acero AISI 1045 HRB 84 con punta semiesférica de 2 mm de radio fueron mecanizados en un torno CNC. La carga empleada fue de 6,5 N, la velocidad de 0,2 m/s y el tiempo de ensayo 20 minutos.

Los texturados con densidades entre 11 a 50 % se realizaron con un laser de fibra (Han's YLP-H20). Se grabaron microcavidades semiesféricas de 70  $\mu\text{m}$  de diámetro y 40  $\mu\text{m}$  de profundidad.

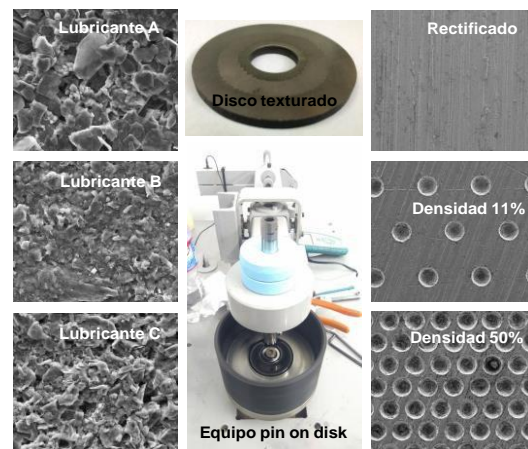


Figura 1: Esquema de los ensayos pin on disk

### RESULTADOS

Los coeficientes de fricción se estudiaron inicialmente sobre discos rectificadas, utilizando los tres lubricantes en pruebas pin-on disk. El lubricante B exhibió el coeficiente de fricción más bajo de 0,43 mientras que para los lubricantes A y C resultaron cercanos a 0,45. Por esta razón, para la consecución de los ensayos se seleccionó el lubricante B.

Para analizar las capacidades lubricantes en diferentes superficies texturizadas, se realizaron pruebas de pin-on disk sobre dos densidades (11 y 50 %) y se compararon con respecto a la superficie rectificada. En la Fig. 2 se muestran los diagramas de caja para la fase estacionaria (últimos 10 minutos de c/ensayo).

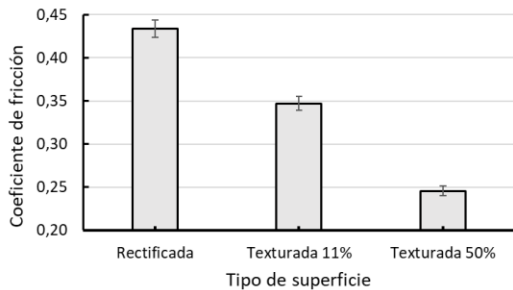


Figura 2: Coeficientes de fricción para las distintas condiciones superficiales

El texturado con mayor densidad presentó los valores más bajos de fricción, siendo los valores promedio de 0,35 y 0,25 para las densidades del 11 y 50 % respectivamente.

Estas diferencias pueden ser atribuidas a la viscosidad y tamaño del grafito, afectando el efecto de cavitación y modificando por tanto las presiones entre superficies. El menor tamaño del grafito favorece la formación de un espesor de película continua en las interfases, facilitando el llenado de las microcavidades de las superficies texturizadas. La figura siguiente muestra una imagen SEM que indica la interacción de las microcavidades y el grafito.

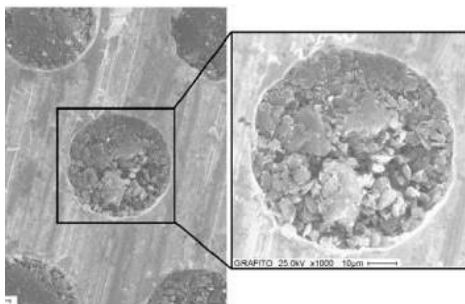


Figura 3: Partículas de grafito en una microcavidad.

Para entender por qué el coeficiente de fricción disminuye para las superficies texturizadas es necesario determinar el régimen de lubricación. En consecuencia, la Fig. 4 exhibe las curvas de Stribeck cuando se usa el lubricante B, y un rango de velocidades tangenciales de 0,065 a 0,4 m/s durante las pruebas pin-on disk de la superficie rectificada y con 50% de densidad, es decir, la peor y la mejor configuración superficial en términos de fricción.

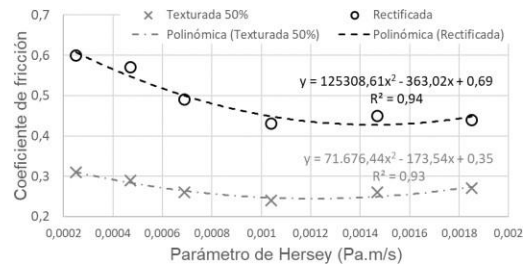


Figura 4: Diagramas de Stribeck para superficie rectificada y texturizada con una densidad del 50%

De acuerdo con la literatura, la superficie texturizada se enmarca en la lubricación hidrodinámica para las mismas condiciones utilizadas durante las pruebas de pin-on disk [2]

### DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De este trabajo se resume lo siguiente:

- Se encontró una disminución del coeficiente de fricción hasta 0,25 (41,8% menor con respecto a la superficie rectificada) cuando se combinó una mayor densidad de superficie texturizada (50%) con el lubricante B (aquel de menor viscosidad y tamaño de grafito).
- La baja viscosidad, el tamaño del grafito y la densidad del texturado han sido parámetros cruciales para afectar la fricción. El tamaño más pequeño del grafito facilita el relleno de las microcavidades, asegurando la continuidad de la capa de lubricante. Además, las microcavidades parecieran aumentar la acumulación de presión, disminuyendo el coeficiente de fricción.
- Por medio de los experimentos realizados se identificó que el régimen de lubricación es hidrodinámico para las superficies texturizadas en las condiciones de operación empleadas.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a Soledad Pereda de INTI-Mecánica, a César Guereta de Sierra Technology Group y a Alejandro Bacigalupe de INTI-Caucho por su valiosa ayuda.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Bijani, D. et al (2018). *The influence of surface texturing on the film thickness in starved lubricated parallel sliding contacts*. Lubricants 6 (61):119. DOI: 10.3390/lubricants6030061.
- [2] Kovalchenko, A. et al (2004). *The Effect of Laser Texturing of Steel Surfaces and Speed-Load Parameters on the Transition of Lubrication Regime from Boundary to Hydrodynamic*. Tribol Trans 47(2), 299–307. DOI:10.1080/05698190490440902
- [3] Martínez Kraemer, D. et al (2019). *Friction characterization when combining laser surface texturing and graphite-based lubricants*. J Mater Research Tech. DOI:10.1016/j.jmrt.2019.12.007