



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635



Instituto Politécnico Nacional

SEPI - ESIME – U. ZAC



“Estudio del fenómeno del desgaste por Fretting”

David Domínguez R.

(Alumno de Maestría en Ingeniería Mecánica del SEPI – ESIME - ZAC - IPN)
davidsaxmsn@gmail.com

Manuel Vite T.

(Investigador del Posgrado en Ingeniería Mecánica del SEPI – ESIME - ZAC - IPN)
drmanuelvite9@hotmail.com

Ezequiel A. Gallardo Hernández

(Investigador del Posgrado en Ingeniería Mecánica del SEPI – ESIME - ZAC - IPN)

Edgar Vera C.

(Investigador de la Universidad Politécnica de Pachuca, Zempoala Hgo., México)
evera@upp.edu.mx



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

Estudio del fenómeno del desgaste por Fretting

Resumen

El *Fretting* es un fenómeno que se presenta con el movimiento relativo de baja amplitud entre dos cuerpos en contacto.ⁱ En otras palabras, se presenta en componentes que están en contacto sometidos a vibraciones. La consecuencia de este fenómeno repercute en la integridad y vida útil del material.

Dicho fenómeno ha atraído gran interés por parte de investigadores por su amplia presencia en la industria. En el sector de transporte se ha dotado de mucha investigación en este fenómeno debido a que la garantía de los componentes esenciales se traduce en la integridad de los mecanismos y en la seguridad del usuario.

En el presente trabajo se dará una introducción a este fenómeno, a los mecanismos de desgaste y a los equipos existentes para la reproducción del fenómeno antes mencionado.

1. Introducción

El desgaste por *Fretting* ocurre debido al deslizamiento recíproco de baja amplitud entre superficies en contacto durante un gran número de ciclos, generalmente debido a vibraciones. Esto ocasiona dos tipos de deterioro: daño en la superficie y reducción en la vida útil por fatiga.ⁱⁱ

Muchos componentes de máquinas que se encuentran en contacto mecánico con otros y están sometidos a vibraciones o deslizamiento relativo, como rodamientos, engranes, conexiones y cables son sujetos al fenómeno del *Fretting*.ⁱⁱⁱ

El fenómeno de *Fretting* toma lugar generalmente en articulaciones mecánicas, dando paso a la fractura y la descalibración de las formas geométricas. Las zonas mecánicas afectadas por *Fretting* más comunes en la industria manufacturera incluyen:^{iv}

- *Remaches*
- *Muelles*
- *Conexiones de ejes*
- *Cables de acero*
- *Rodamientos*
- *etc.*



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

La seguridad, o hasta la vida útil, de un vehículo depende de la confiabilidad de los contactos eléctricos. Éstos se encuentran ampliamente en cualquier tipo de transportes modernos, tales como: aviones, trenes y automóviles. Los problemas en la seguridad y el confort recae estrictamente en los electrónicos con sistemas como frenado antibloqueo, control de tracción, bolsas de aire o en la navegación por lo que la integridad de los contactos eléctricos es crucial.^v

En la industria Aeroespacial este fenómeno se convierte en un factor crítico. Los transbordadores espaciales lanzados al espacio sufren intensas vibraciones mientras que viajan a través de la atmósfera. Así mismo son expuestos a temperaturas extremas. Los componentes involucrados para desacoplar los módulos del transbordador comúnmente experimentan desgaste por *fretting*.

También se puede encontrar este fenómeno en los transformadores de alta tensión como en los equipos de generación eléctrica, en el sector automovilístico, en implantes médicos o en cualquier aparato sometido a vibraciones.

2. Teoría

El fenómeno de desgaste por *Fretting* es ocasionado por el proceso de adhesión, donde existe una transferencia de material y finalmente la separación del mismo en forma de *debris*. A continuación se presenta una breve descripción de los procesos mencionados.

2.1. Adhesión y transferencia de material

Inicialmente, existe una fina capa de óxido sobre la superficie de cualquier metal de ingeniería. Esta capa, protege el metal subyacente de un contacto metal con metal puro. Sin embargo, al cabo de solo algunos ciclos, es dispersada y dicho contacto es inevitable, donde las asperezas de la cara y contra cara se sueldan entre sí y debido a la fatiga son desprendidas, generando una gran rugosidad en la superficie y una disminución en la adhesión.^{vi} Además, debido al esfuerzo cortante sobre las superficies se genera una deformación plástica. En este caso, la adhesión entre los materiales es de mayor intensidad, particularmente, en aquellos metales más dúctiles. Posteriormente, parte de la transferencia de material que existe se convierte en *debris*, que se oxida debido a la presencia de oxígeno.

La temperatura es un parámetro de suma importancia en dicho fenómeno. A temperaturas elevadas, la superficie se oxida muy rápidamente, generando una capa protectora y desacelerando el proceso de desgaste en el material.

2.2. Separación del material

Posteriormente a la transferencia de material, pueden suceder dos posibilidades:



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

- Las partículas transferidas se van oxidando gradualmente y después son expulsadas convirtiéndose en partículas abrasivas.
- Se vuelven a re-transferir a la superficie formando una fina capa de óxido menor que la inicial. Al cabo de cierto tiempo, ésta resiste la re-transferencia y rechaza las partículas transferidas expulsándolas de la interface, formando partículas abrasivas.

También puede suceder que el contacto mecánico entre los metales esté relacionado con la fatiga por corrosión dependiendo del ambiente en el que se generen los ensayos. Esto provoca que se formen pequeñas fisuras, que con el movimiento recíproco se propaguen y ocasione desprendimiento de material.

Por otra parte, en amplitudes relativamente grandes, debido al deslizamiento total en el contacto, el fenómeno predominante es el desgaste por adhesión, mientras que en amplitudes pequeñas, debido al deslizamiento parcial en el contacto, el mecanismo predominante es el *cracking* o fisuramiento.

3. Equipo para ensayos de *Fretting*

3.1. Falex Tribology

La casa comercial Falex Tribology, ha desarrollado un equipo para ensayos de desgaste por *Fretting*, el cual utiliza un actuador electromagnético, que mueve un vástago, mismo soporta dos especímenes. Se coloca una carga que se aplica sobre éstos, mediante unos brazos suspendidos. Es capaz de realizar los ensayos en las configuraciones de *esfera sobre placa* (*ball on flat*), *cilindro sobre placa* (*cylinder on flat*) y *cilindros cruzados* (*crossed cylinders*).

Tiene un rango de amplitudes de 1-100 μm en un rango de frecuencias de 0.1-100 Hz.

Los parámetros ajustables son: frecuencia, amplitud, número de ciclos y forma de onda.



Figura 1. Equipo desarrollado por Falex Tribology

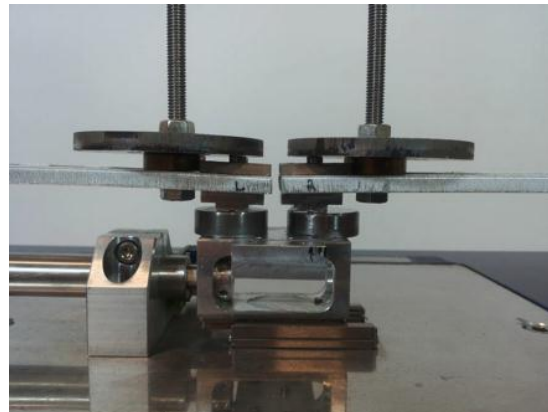


Figura 2. Configuración disponible para dos probetas



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

3.2. Purdue University

Este instrumento, utiliza un actuador magnetostrictivo lineal, que puede ser empleado en una configuración *esfera sobre placa*, *placa sobre placa* o *cilindros cruzados*. En esta última, la mesa giratoria de éste, se opera en un rango de 75-90 ° entre el ángulo formado entre los cilindros estacionarios y el reciprocante.

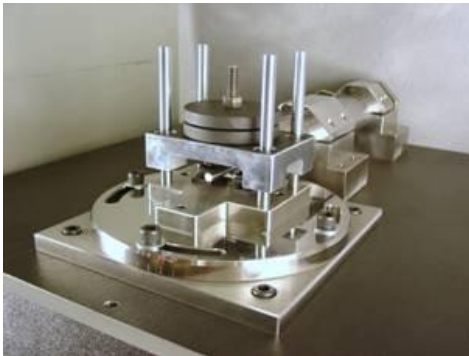


Figura 3. Equipo desarrollado por la Universidad de Purdue

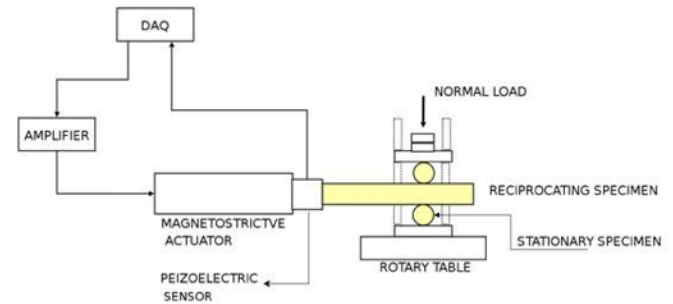


Figura 4. Configuración de cilindros cruzados

3.3. Phoenix Tribology

Este tribómetro posee dos actuadores servo hidráulicos gobernados por un controlador análogo de alta frecuencia. Tiene la capacidad de generar formas de onda senoidales, cuadradas, triangulares y aleatorias. Se puede operar en condición seca o lubricada. Puede lograr frecuencias de hasta 200 hz. Está diseñada para realizar pruebas de *fretting* de 20-80 μm. Sin embargo, para pruebas de movimiento reciprocante puede alcanzar los 20 mm de desplazamiento. Opera en las configuraciones *esfera sobre placa*, *placa sobre placa* y *línea sobre placa*. Soporta una carga de 5-1000 N.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635



Figura 5. Equipo desarrollado por Phoenix Tribology

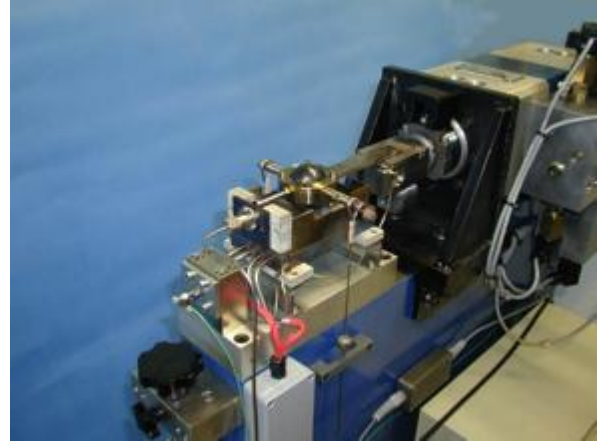


Figura 6. Componente del tribómetro

4. Huella de desgaste por *Fretting*

En una configuración típica de cilindros cruzados, la huella de desgaste obtenida presenta una geometría circular o elíptica dependiendo del ángulo formado entre los cilindros. En los primeros ciclos, el desgaste comienza en la parte exterior de la huella de contacto. La región central no se desgasta significativamente, pero su topografía se modifica debido a adhesión y transferencia de material. Después de un gran número de ciclos, el centro de la huella disminuye hasta casi desaparecer. A medida que corre la prueba la huella se va haciendo más grande y profunda.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
 Multidisciplinario
 10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
 ISBN: 978-607-95635

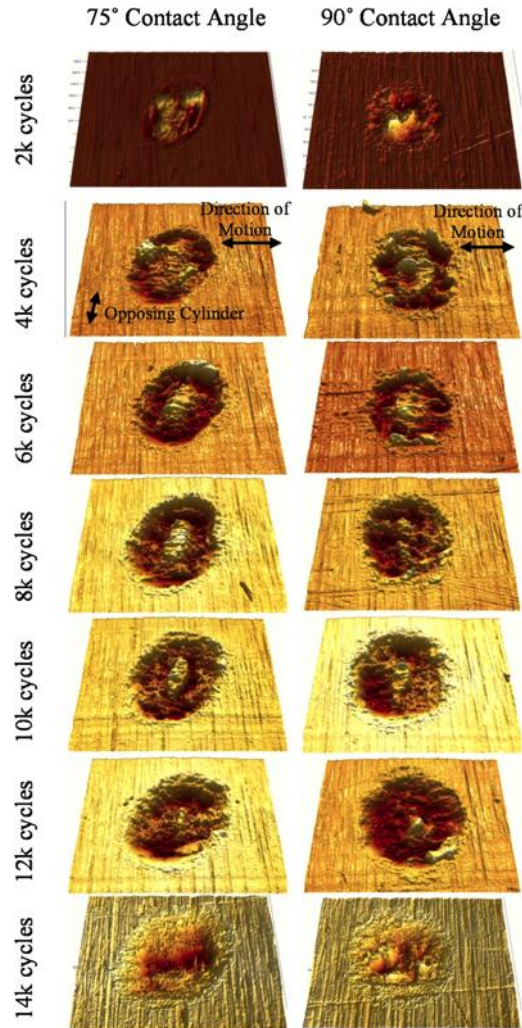


Figura 7. Huellas de desgaste con cilindros cruzados a 75° y 90°

En la configuración de esfera sobre placa, la zona de adhesión ocurre en un principio en el centro del contacto Hertziano mientras que en el extremo de su diámetro existe un deslizamiento donde se genera una coloración oscura debido a la oxidación de las partículas del acero. Posteriormente, dicha zona comienza a contraerse debido a la presencia de dichas partículas y posiblemente también por deformación plástica.

En una prueba con la misma configuración pero lubricada, la fuerza de fricción permanece relativamente constante. Los *debris* no se apilan alrededor del contacto sino que son arrastrados por el aceite lubricante, generando burbujas que provocan cavitación sobre la superficie, pero éstas absorben una gran cantidad de óxido de hierro, lo que permite que se reduzca su tamaño y su cantidad.

“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

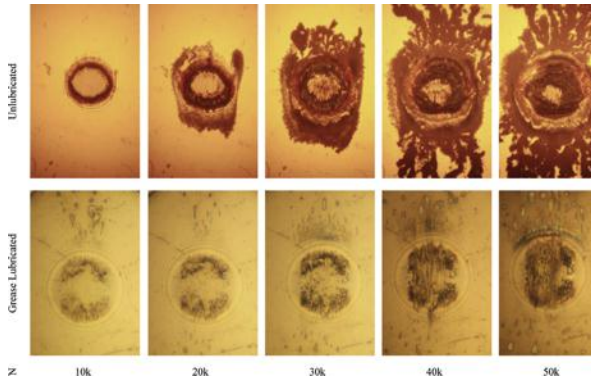


Figura 8. Huellas de desgaste con esfera sobre placa en condición seca y lubricada

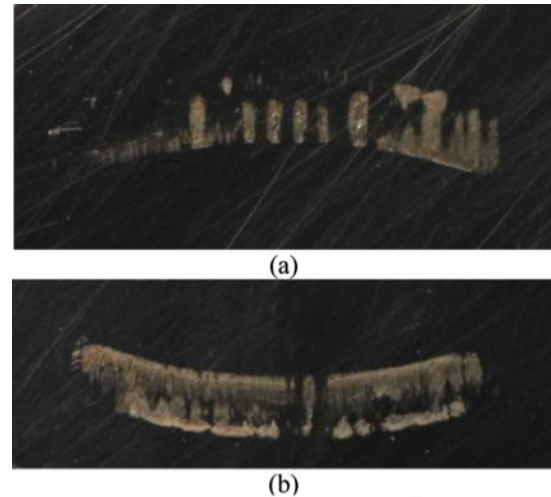


Figura 9. Huella de desgaste con placa sobre placa.

En la configuración placa sobre placa el volumen de desgaste se incrementa linealmente conforme la prueba avanza. La profundidad de la huella de desgaste varía sobre la línea de acción del contacto, es decir, desde muy profundas a ser casi imperceptibles. Esta irregularidad, se debe supuestamente a la rugosidad de las probetas. Después de un análisis se determinó que el desgaste se presenta prioritariamente en dos franjas correspondientes a los bordes de la probeta, perpendiculares a la dirección del desplazamiento.

5. Conclusiones

El fenómeno de *Fretting* ha capturado la atención de expertos en materiales y diseñadores mecánicos por su gran influencia en el deterioro de los componentes sometidos a deslizamientos de bajas amplitudes. Aún más importante es el fenómeno de fatiga por *Fretting* que afecta, directamente, la vida útil del componente en cuestión. Hoy en día los ingenieros y tecnólogos no sólo deben seleccionar un material resistente a los esfuerzos a los cuales va a estar sometido, sino que también deben considerar un material o un recubrimiento, capaz de soportar este tipo de desgaste.

La mayor preocupación es que en componentes esenciales pueden comprometer el funcionamiento y la eficiencia adecuada de los mecanismos poniendo en riesgo la seguridad del usuario.



“CONGRESO INTERNACIONAL DE INVESTIGACION E INNOVACIÓN 2014”
Multidisciplinario
10 y 11 de abril de 2014, Cortazar, Guanajuato, México
ISBN: 978-607-95635

El desgaste por *Fretting* da origen a fisuras que sometidas a vibraciones se extienden rápidamente a lo largo del componente, provocando la fractura lo que conlleva al colapso del componente o mecanismo.

6. Propuesta

- Formar especialistas en el campo de tribología en el tópic de fretting
- Analizar los problemas del fretting en la industria aeroespacial y automotriz
- Desarrollar con ingeniería y tecnología mexicana un prototipo funcional de desgaste por fretting empleando las configuraciones más usadas.

Referencias

-
- ⁱ R.B. Waterhouse, Fretting Fatigue, Applied Science, London, 1981
 - ⁱⁱ G.W. Stachowiak, A.W. Batchelor, Engineering Tribology (Tribology Series 24), Elsevier, Amsterdam, 1993,684 pp.
 - ⁱⁱⁱ B. D. Leonard, F. Sadeghi, S. Shinde, M. Mittelbach, A novel modular fretting wear test rig, Elsevier, 2011
 - ^{iv} Hermann Nortjé, An Investigation of Fretting Wear in Aerospace Applications, University of Stellenbosch, 2011
 - ^v T. Liskiewicz, A. Neville, S. Achanta, Impact of Corrosion on Fretting Damage of Electrical Contacts, IEEE, 2006
 - ^{vi} V. Chaudhry, Satish V. Kailas, Fretting studies on self-mated stainless steel and chromium carbide coated surfaces under controlled environment conditions, Elsevier, 2013