

FALLAS POR FATIGA BAJO FRICCIÓN

JAIRO MOY VARGAS
Universidad Nacional de Colombia
Medellin, Apartado Aéreo 102

RESUMEN

Se presenta brevemente cual es el mecanismo que origina la falla por fatiga bajo fricción, los factores que intervienen y como puede prevenirse la falla.

Finalmente se ilustran ejemplos propios que ayudan a identificar y diagnosticar la falla por fatiga bajo fricción.

PALABRAS CLAVES

Fatiga por fricción, corrosión por fricción, fricción, fallas por fatiga, fallas en ejes, análisis de fallas, fractografía, fatiga, corrosión, ejes, fallas.

ABSTRACT

Different mechanisms of fatigue by friction are presented, in addition, various factors that influence the fatigue failure of metals are identified as well as ways to prevent fatigue. Several examples are included that illustrate the simplicity of the proposed method.

KEY WORDS

Fretting fatigue, Fretting corrosion, Fretting, Fatigue failures, Shaft failures, Failure analysis, fractography.

1. INTRODUCCIÓN

La corrosión bajo fricción, comúnmente conocida como FRETTING, es el resultado de la acción combinada de la corrosión y el desplazamiento, en uniones nominalmente fijas. El desplazamiento es el resultado generalmente de vibraciones externas o de los esfuerzos cíclicos a los que está sometida la unión,

lo que puede llevar a la iniciación de una grieta de fatiga. Cuando la corrosión bajo fricción (FRETTING), da origen a una grieta que se propaga por fatiga a este fenómeno se le da el nombre de fatiga bajo fricción (Ref. 1)

El término corrosión bajo fricción (Fretting corrosion) fue utilizado en 1927 por Tomlinson (Ref. 2), debido a la formación de residuos de color rojo-café de óxido de hierro $\mu - \text{Fe}_2\text{O}_3$ resultado de la reacción con el oxígeno del aire. El también estableció que el daño puede ser causado por movimientos con amplitudes tan pequeñas como 1250 Å

La acción de la corrosión bajo fricción puede reducir la resistencia a la fatiga por factores de 2.5 o más (Ref. 3). En fatiga normal, la iniciación de la grieta representa el 90% de la vida, mientras que con corrosión bajo fricción, la iniciación se reduce a menos del 5% de la vida del elemento (Ref. 4)

2. MECANISMO DE LA CORROSIÓN BAJO FRICCIÓN.

La fatiga bajo fricción, es pues un fenómeno de fatiga donde la iniciación de la grieta de fatiga se debe a la corrosión bajo fricción. En general la corrosión reduce la resistencia a la fatiga de un elemento pues siendo ambos un fenómeno que se inicia en la superficie su acción combinada es mucho mas nociva a la resistencia del elemento (ref. 11). Por consiguiente en la fatiga bajo fricción, además de la corrosión, hay un efecto mecánico que es la fricción, esto es lo que lo hace clasificarla como un caso muy particular de fatiga.

Este tipo de fallas de fatiga es muy frecuente y se encuentra siempre en las uniones ajustadas o de contacto entre metales sin o con muy poco desplazamiento entre las superficies en contacto.

El fenómeno ocurre entre dos superficies unidas, donde no escapan fácilmente residuos de corrosión.

El progreso con el tiempo ocurre en tres etapas (Ref.5).

2.1 Etapa inicial, de algunos miles de ciclos, donde prevalece el contacto metal - metal, resultando en soldadura local, arrugamiento de la superficie, alta fricción y si se mide la resistencia eléctrica de contacto en la unión, se encuentra un valor bajo. Las grietas de fatiga se inician en esta etapa, si el movimiento resulta de esfuerzos cíclicos (Ref.6).

2.2. Formación de depósitos de óxido compacto, con una caída del coeficiente de fricción y comportamiento errático de la resistencia eléctrica de contacto, oscilando entre altos y bajos valores.

2.3. Comienzo de un estado estable en el que la fricción es más o menos constante y la resistencia eléctrica de contacto es generalmente alta con ocasionales y momentáneas caídas a valores bajos.

3. FATIGA BAJO FRICCIÓN

Comienza por la formación de una grieta típicamente en el límite de la zona afectada y tallada mecánicamente por fricción. (Fig 1, ref.7).

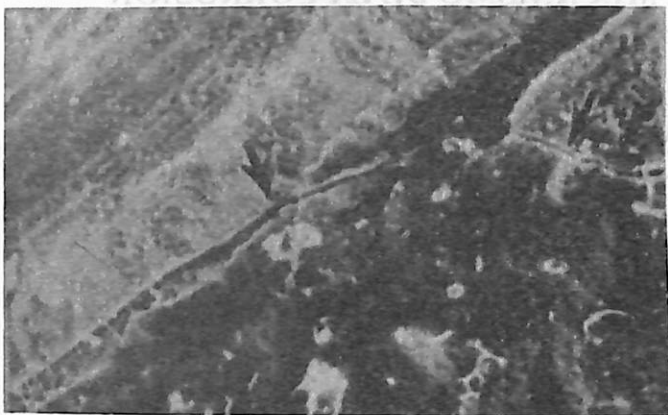


Figura 1 Daño por fricción en una probeta de acero fatigada, mostrando localización de una grieta de fatiga en el límite de la talladura por fricción (Ref.7).

La grieta una vez iniciada, se propaga oblicua la superficie de fricción (Figs 2 y 3, ref.8)

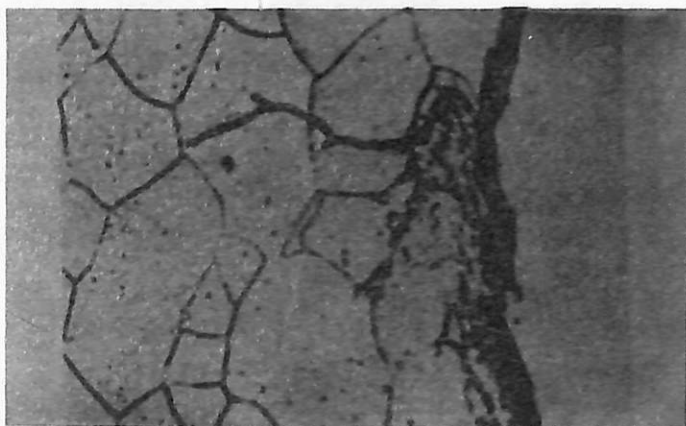


Figura 2 Corte, mostrando el daño por fricción y la iniciación de una grieta de fatiga oblicua con respecto a la superficie, en un acero de 0.2% C. (Ref.8).

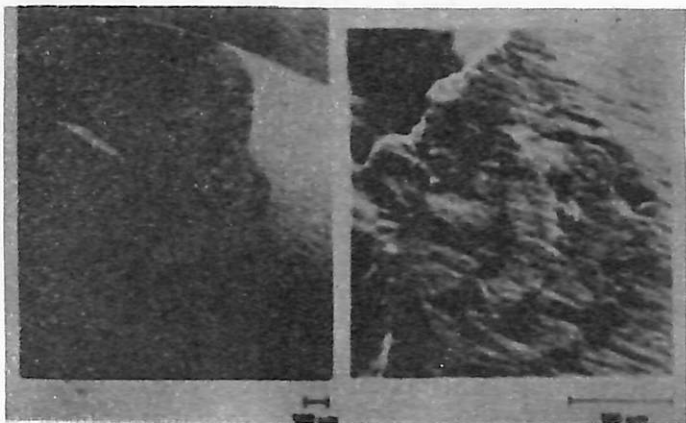


Figura 3 Falla por fatiga bajo fricción, iniciada en la superficie de roce de un cable. En el detalle a la derecha se aprecia, el labio saliente, debido a la inclinación de la grieta, y otra grieta al borde de la talladura de fricción. (Ref.8).

4. FACTORES QUE AFECTAN LA CORROSIÓN BAJO FRICCIÓN

Los siguientes factores son identificados como influyentes en la severidad del problema, y actuando sobre los mismos, puede reducirse su severidad, aunque no eliminarse completamente.

4.1. CARGA DE CONTACTO

El desgaste por fricción, se acentúa proporcionalmente con la carga, si se mantiene la amplitud del desplazamiento.

4.2. AMPLITUD

Parece que no existe un nivel detectable, por debajo del cual no ocurra la corrosión bajo fricción. Sin embargo, si las condiciones de contacto son tales, que la deformación es sólo elástica, no es posible que el daño por fricción ocurra. El efecto de la amplitud puede ser lineal, y puede existir un nivel por encima del cual ocurre un aumento rápido del desgaste, este nivel depende probablemente de la geometría (Ref.9).

4.3. FRECUENCIA

Cuando la erosión se mide en volumen en volumen de material removido por unidad de desplazamiento, parece no haber un efecto de la frecuencia.

4.4. NÚMERO DE CICLOS

Hay un período de incubación en que el desgaste es pequeño (Ref.8), después se entra en un período de tasa estable de desgaste y aumento de la rugosidad.

4.5. HUMEDAD RELATIVA

Para materiales que se corroen en aire, el desgaste es mayor en aire seco que saturado. En aire seco, el hierro y el níquel, producen residuos que permanecen en su sitio y separan las superficies. A medida que aumenta la humedad, los residuos se vuelven más móviles, facilitando el contacto metal - metal.

4.6. TEMPERATURA

Su efecto depende de las características de oxidación del metal. Si el aumento de temperatura favorece la formación de óxidos protectores, la tasa de desgaste disminuye.

5. PREVENCIÓN DEL DAÑO POR FRICCIÓN

El primer paso es determinar si el fenómeno es "controlado por la fuerza" o "controlado por el desplazamiento".

En el control bajo fuerza ocurre en el caso de deslizamiento parcial, por lo tanto un incremento en el coeficiente de fricción o en la carga normal, reducirá el desplazamiento.

El control bajo desplazamiento, donde el deslizamiento ocurre en toda la superficie, la amplitud es una constante y el desgaste se reducirá, reduciendo la fuerza normal y también el coeficiente de fricción.

5.1. MEJORA DEL DISEÑO

Puesto que el desgaste resulta del movimiento relativo, su eliminación es de primordial importancia. Reduciendo los concentradores de esfuerzos, se reducen los desplazamientos diferenciales. Aumentando la presión, por reducción de áreas lo que reduce el área de deslizamiento y por lo tanto la probabilidad de iniciar una falla por fatiga o por aumento de la carga, aunque esta última acción puede generar una falla por fatiga debido a la sobrecarga.

5.2. ACABADO SUPERFICIAL

Las superficies lisas son más propensas al daño por fricción que las rugosas, las cuales se pueden obtener por granallado; esto último introduce esfuerzos residuales de compresión, que aunque no afectan la corrosión por fricción, sí mejoran la resistencia a la fatiga.

5.3. RECUBRIMIENTO

Los recubrimientos duros deben de tener un soporte resistente, porque si no se agrietan y pueden producir daño por abrasión. La carburización y la nitruración, mejoran la resistencia a la corrosión bajo fricción. La electrodeposición se usa para evitar la formación de óxidos en los contactos eléctricos.

5.4. INSERTOS

La colocación de un suplemento de metal blando o de plástico, ayuda a absorber los desplazamientos elástica o plásticamente.

5.5. LUBRICANTES

Su uso es difícil, pues trata de salirse, sin embargo se utiliza en cables. Algunos lubricantes sólidos, reducen el coeficiente de fricción inicialmente, pero después pueden desgastar (MoS_2 , por ejemplo).

6. EJEMPLOS DE FALLAS POR FATIGA BAJO FRICCIÓN

Este tipo de fallas es fácilmente identificable, por el típico residuo color rojo - chocolate, el pulido en la superficie y el inicio de una falla de fatiga que no siempre coincide con el concentrador de esfuerzos (Ref.10).

Es mucho más frecuentes de lo que parece, pues generalmente se le confunde con un problema de concentración de esfuerzos, por la presencia de chaveteros y dispositivos similares que se utilizan para mantener las partes juntas sin movimiento, pero un cuidadoso análisis fractográfico para determinar el sitio de inicio de la falla, nos puede dar sorpresas como de que el origen nada tiene que ver con la zona de concentración de esfuerzos y mas aún, a veces se encuentra en una sección de mayor diámetro, lisa sin cambios de sección, donde los esfuerzos de diseño son menores.

Los siguientes ejemplos típicos, recopilados por la experiencia propia del autor, ayudaron a localizar e identificar este tipo de falla.

6.1. FALLA DE BARRAS IMPULSORAS DE UNA BOMBA DE PISTON DE 15000 H.P. (FIG. 4 Y 5).

La falla se inició en una zona de ajuste de mayor diámetro de la barra y se debió a un rediseño para aumentar la capacidad de bombeo, lo que generó mayores esfuerzos axiales sobre la barra y mayores desplazamientos. Esta falla generó pérdidas materiales de un millón de dólares.



Figura 4 Falla por fatiga de una barra impulsora. Se inicia por fatiga bajo fricción en un ajuste de la barra, 0.8X (Ref.10).

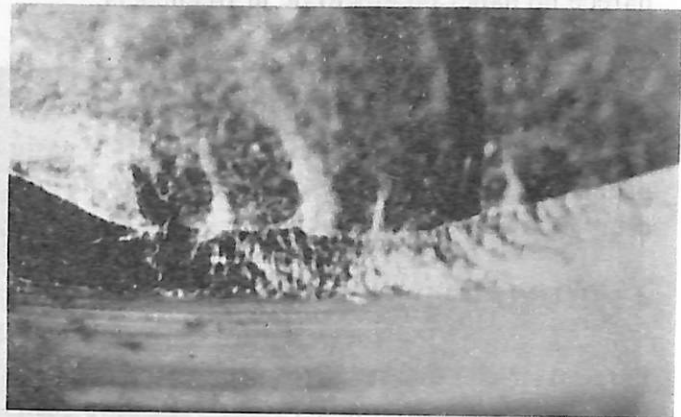


Figura 5 Detalle del sitio de inicio de la falla en la Figura 4. Se observa la rugosidad ocasionada por la corrosión bajo fricción, 15X. (Ref.10).

6.2. FALLA DEL EJE DE TELAR SULZER (FIG:6)

La falla se origina en dos sitios de acople de una volante, sobre la superficie cilíndrica y sobre el asiento del chavetero. Cada origen genera una superficie de fractura por fatiga bajo torsión de sentido inverso.

6.3. FALLA DE EJE DE TELAR LEZZENI (FIG 7 Y 8).

Esta falla se inicia por fatiga bajo fricción en el chavetero y se propaga bajo esfuerzos de flexión.

6.4. FALLA DE PERNOS DE CUCHARA DE RUEDA PELTON (FIG. 9 Y 10).

Los pernos fijaban cucharas dobles a la manzana de la rueda. El ajuste era cónico, generándose numerosas fallas por fatiga bajo fricción, después de 40 días de servicio. El problema se solucionó, reduciendo los desplazamientos mediante un mejor asentamiento de las cucharas sobre la manzana.



Figura 6 Eje de telar Sulzer, que falló por fatiga bajo fricción, por esfuerzos de torsión en sentido opuesto con origen en la superficie cilíndrica (arriba) y en la base del chavetero. 0.80X (Ref.10).

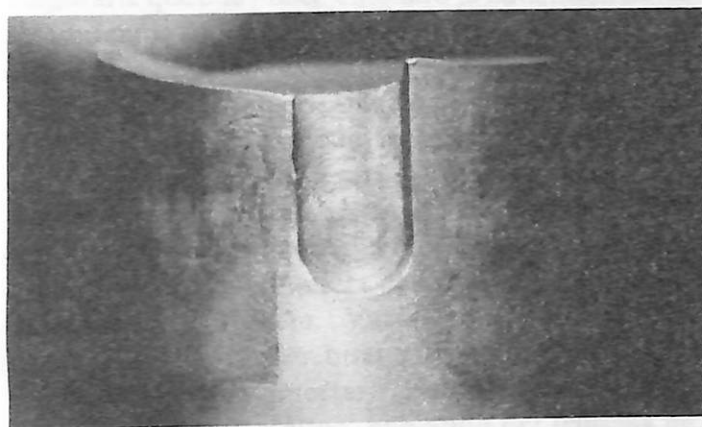


Figura 7 Eje de telar Lezzeni. Se aprecia el daño por corrosión bajo fricción en su superficie, lo que originó la falla. 1.6X.



Figura 8 Superficie de fatiga por flexión, originada en el chavetero (Fig 7.). La rotación del eje era en sentido contrario, según la zona de rotura final. (arriba, izquierda). 1.5X. (Ref 10).

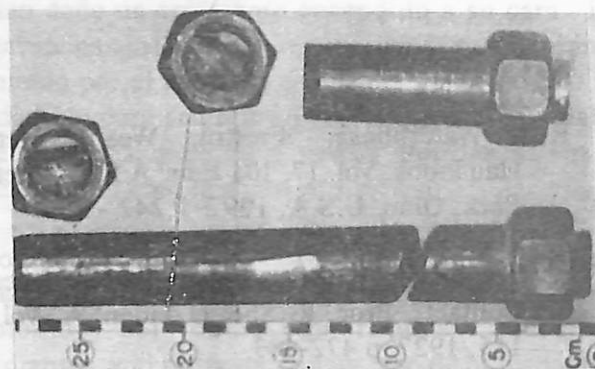


Figura 9 Pernos cónicos SAE GRADO 8, de ajuste de cucharas a rueda Pelton. Fallaron por fatiga bajo fricción en el vástago, también se presentaron fallas en la rosca, posiblemente a consecuencia de la falla del vástago (Ref.10)

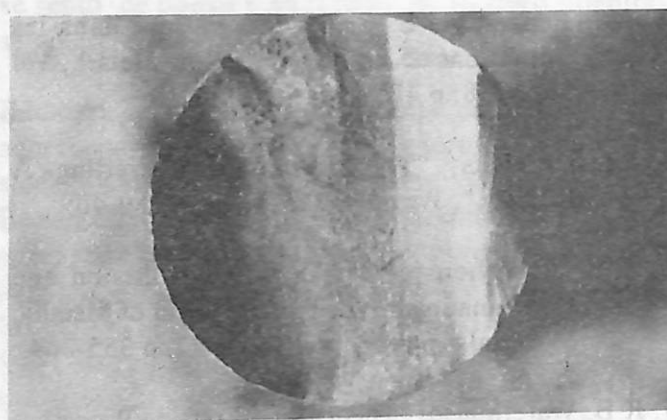


Figura 10 Superficie de fatiga de los pernos (Fig 9.). Se aprecian marcas de ratchet, evidenciando numerosos sitios de inicio por corrosión bajo fricción del vástago. 1X. (Ref 10).

7. CONCLUSIONES

- 7.1 La fatiga bajo fricción se origina en una grieta nucleada en proceso de corrosión bajo fricción, muy frecuente en uniones ajustadas sometidas a vibración o pequeños deslizamientos.
- 7.2 Controlando los desplazamientos, la fricción o la corrosión en forma simultánea o aisladamente, se puede eliminar el problema.
- 7.3 Este tipo de falla es fácilmente identificable por la presencia de los residuos de corrosión característicos y el inicio de la falla por fatiga no coincidiendo generalmente con algún concentrador de esfuerzos o accidente geométrico.

8. REFERENCIAS

1. R.B. Waterhouse, "Fretting Wear", Metals Handbook, Vol. 17, 10a Edic. A.S.M., Metals Park, Ohio, U.S.A. 1992. P.242 - 256.
2. G.A. Tomlinson, "The Rusting of Steel Surfaces in Contact", Proc. R. Soc. (London) A, Vol. A 115, 1927. p 472-483.
3. J.R. McDowell, "Fretting Corrosion Tendencies of Several Combinations of Materials", Symposium on Fretting Corrosion. STP 144, A.S.T.M, 1953, P.243.
4. A.J. Fenner y J.E. Field, "La Fatigue dans les Conditions de Frottement", Rev. Metall., Vol 55, 1958. p.475-485.
5. P.L. Hurricks. "The Mechanism of Fretting- A Review ", Wear, Vol.15,1970, p.389-409.
6. R.B. Waterhouse, "The Role of Adhesion and Delamination in The Fretting Wear of Metallic Materials", Wear, Vol. 45, 1977, p.355-364.
7. R.B. Waterhouse, "Theories of Fretting Processes ",in" Fretting and Fatigue", Applied Science, 1981, p.207-211.

8. W. Glaeser y I.G. Wright, "Mechanically Assisted Degradación", Metals Hand. Vol. 13, 10a Edit. A.S.M., Metals Park, Ohio, U.S.A. 1987, P.136-144.
9. R.B. Waterhouse, "Fretting Corrosión", Pergamon Press, 1972, p.111-113.
10. J. Moy, Laboratorio de Metalografía, Facultad de Minas, Informes ILM- 107/90, 242/92, 170/93, y 120/94. Trabajos no publicados, años 1990, 1992, 1993 y 1994. Medellín, Colombia.
11. J.E.Shigley, "Diseño en Ingeniería Mecánica", 2ª Edic.,Mc.Graw Hill, México, 1979.