

FATIGA

La fatiga es un fenómeno que produce fallos con cargas inferiores al límite elástico que son aplicadas más o menos cíclicamente, cargas variables.

Hemos visto que a altas temperaturas, una pieza puede romper bajo la aplicación de cargas inferiores al límite elástico por fluencia; en principio, a bajas temperaturas no debería romper bajo este tipo de cargas, aunque vamos a ver que no es así.

Suponiendo que, inicialmente, la pieza no tiene ninguna grieta, las etapas del proceso de fallo son:

- Nucleación de la grieta
- Crecimiento de la grieta
- Rotura final instantánea (propagación de grieta de forma catastrófica)

El proceso de fatiga es muy variable con la naturaleza del material, y sobre todo del estado de carga:

- Fatiga de altos ciclos : $N > 10^4$ ciclos
- Fatiga de bajos ciclos : $N < 10^4$ ciclos

↳ el comportamiento es completamente diferente; a bajas ciclos, la nucleación de la grieta es relativamente sencilla, mientras que el crecimiento de la misma es muy complicado; sin embargo, a altos ciclos, la forma:

ción de la grieta es un proceso muy lento, pero una vez formada se propaga muy rápidamente.

Por tanto, la influencia de microgrietas iniciales es radicalmente diferente: es fundamental a altos ciclos y casi inapreciable a bajos ciclos.

● Nucleación de la grieta

En un policristal, aunque apliquemos cargas inferiores al límite elástico, siempre hay algún cristal ordenado de tal forma que sus dislocaciones se pueden mover por algún sistema de deslizamiento. Por tanto, en alguna zona más débil o más cargada de la pieza, se produce un movimiento de dislocaciones concentrado en ciertos planos de deslizamiento de un grano. Se forman extrusiones e intrusiones, debido al continuo deslizamiento de unos planos sobre otros, dando lugar a la formación de un núcleo de grieta (antes o después, uno de los planos de una intrusión se "despega" de los vecinos → núcleo de grieta microscópico), que crece a continuación.

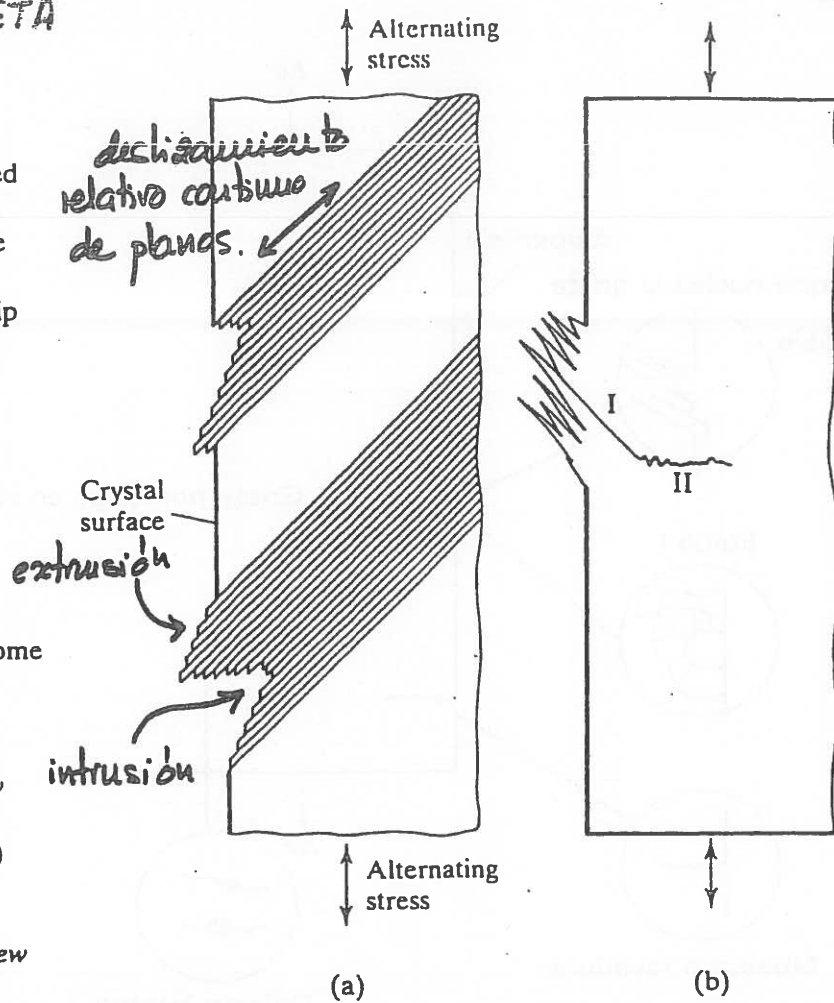
La nucleación de grietas ocurre con mayor probabilidad en la superficie de las piezas por:

- Ser más fácil el deslizamiento de planos cristalográficos junto a una superficie libre
- Existencia de marcas o dañado superficial
- Generalmente los mayores esfuerzos actúan en la superficie (componentes de flexión o torsión)

NUCLEACIÓN DE LA GRIETA

M/98

- 12.3 (a) Surface intrusions and extrusions on a crystal subjected to an alternating stress. This surface morphology, due to the heterogeneous plastic deformation taking place on slip bands, is not observed during monotonic loading. At some point the extrusion assumes a cracklike nature, and a Stage I fatigue crack is considered nucleated. (b) The Stage I fatigue-crack-propagation direction is dictated by flow considerations. Thus, it is not normal to the stress axis. At some point it becomes normal, and Stage II slow crack growth commences. (Part (a) After R. Reed-Hill, *Physical Metallurgy Principles*, 2d edn., D. van Nostrand, New York 1973; (b) after A. S. Tetelman and A. J. McEvily, Jr., *Fracture of Structural Materials*, Wiley, New York, 1967.)



PROPAGACIÓN DE LA GRIETA

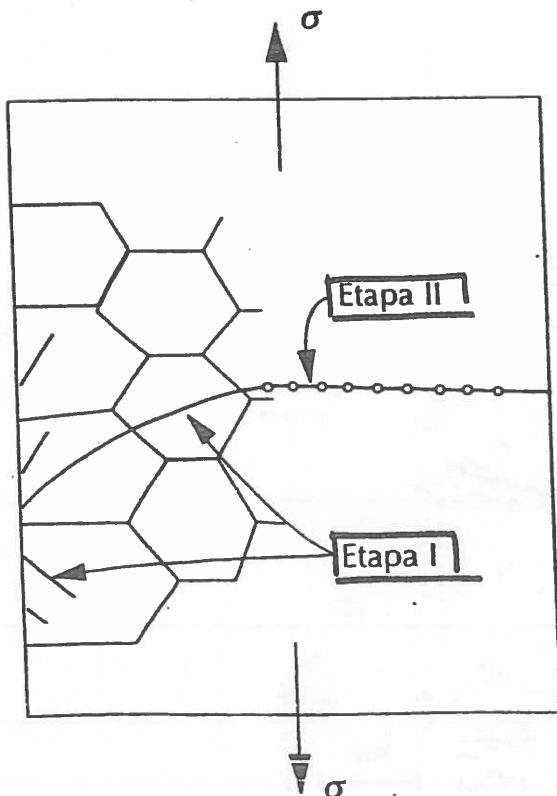


Figura 8.21 Representación esquemática mostrando las etapas I y II de propagación de la grieta en metales policristalinos. (Copyright © ASTM, Reproducido con permiso.)

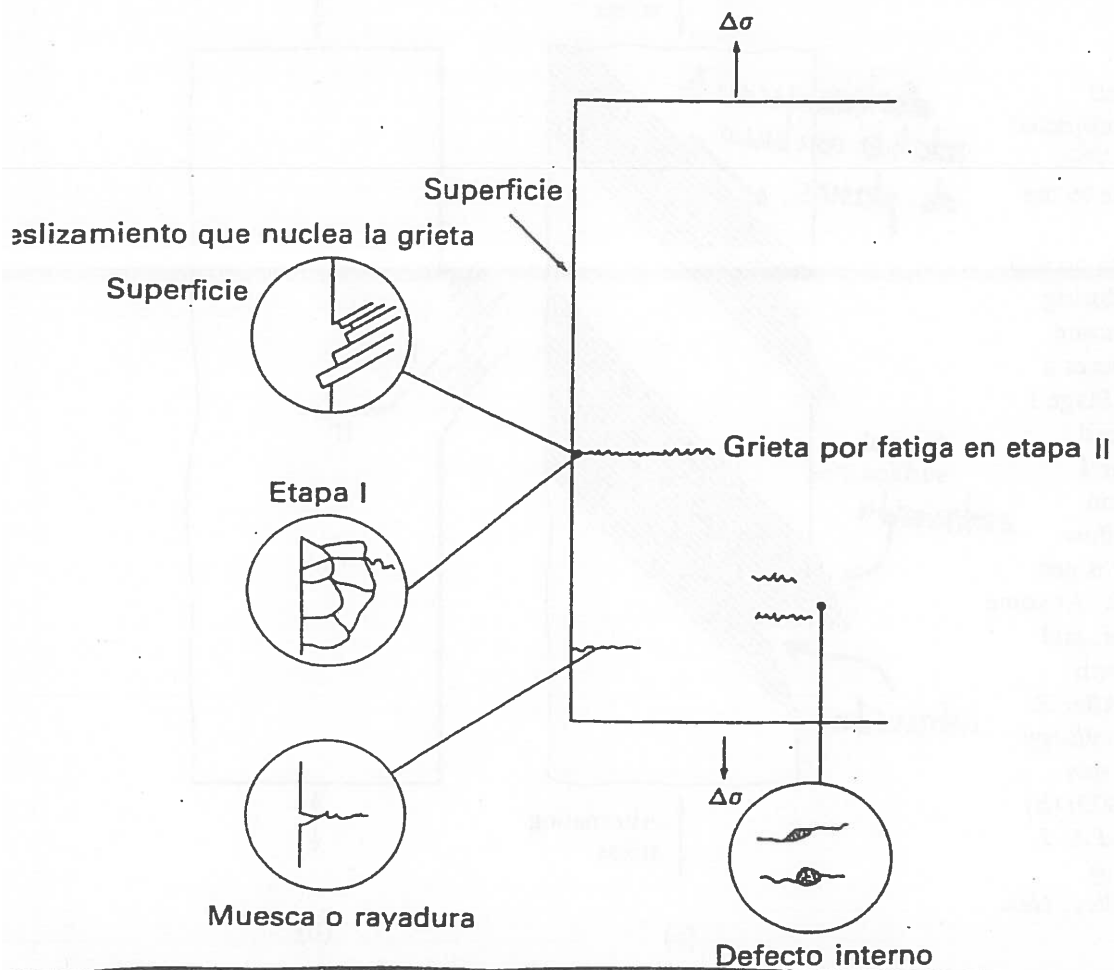
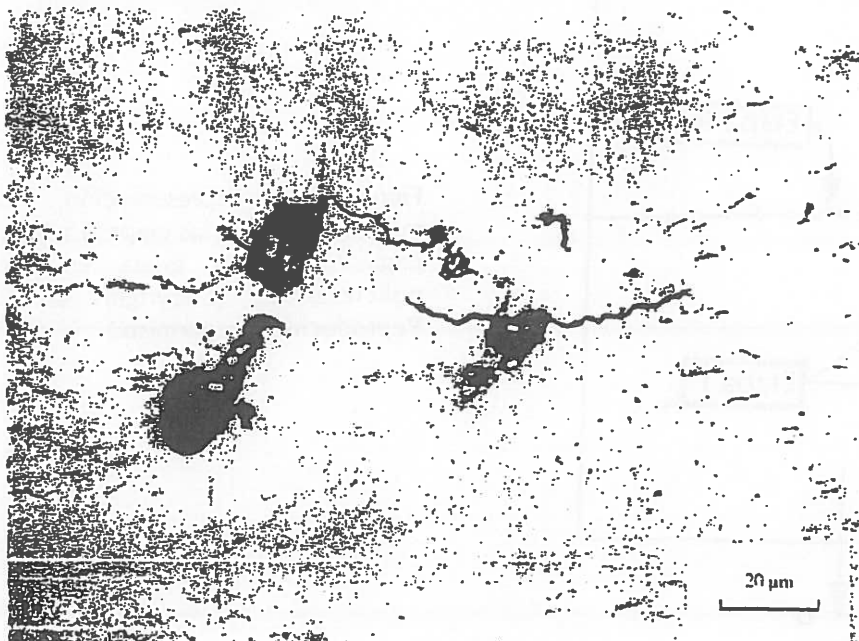


Figura 13.13 Esquema de las diferentes formas en que se inician y crecen las grietas por fatiga.

FIGURE 12.4

A fatigue crack nucleated at an inclusion in a 4140 steel. (L. F. Coffin, Jr., M. F. Henry and L. A. Johnson, original source. Reproduced with permission, from the Ann. Rev. of Materials Sc., 2, 123, © 1972 by Annual Reviews Inc.)



Grieta interna por una inclusión: poco probable

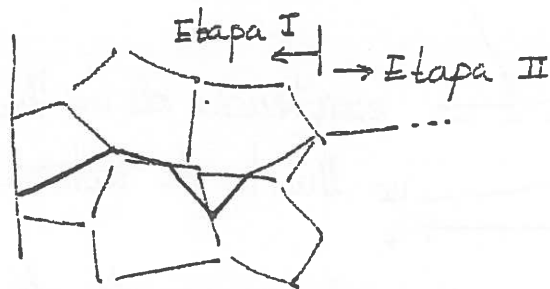
- El ambiente exterior puede favorecer el proceso.

También cabe la posibilidad de iniciarse en alguna cavidad o inclusión interior.

• Propagación de la grieta

Distinguimos dos etapas con diferente comportamiento de la grieta:

Etapa I. Está ligada a los planos cristalográficos, por los cuales se propaga la grieta bajo esfuerzos de cizalladura. La grieta varía su orientación al pasar de un grano a otro, aunque va cortando en direcciones aproximadamente a 45° de la dirección de aplicación de la carga.



Puede ocupar varios granos de la pieza.

Etapa II. Ahora el crecimiento no está ligado a sistemas de deslizamiento ni a la orientación de los cristales; la grieta avanza perpendicularmente a los esfuerzos locales de tracción: corta a los granos según se los encuentra. Dentro de esta segunda etapa podemos distinguir tres regiones de diferente comportamiento según va creciendo la grieta.

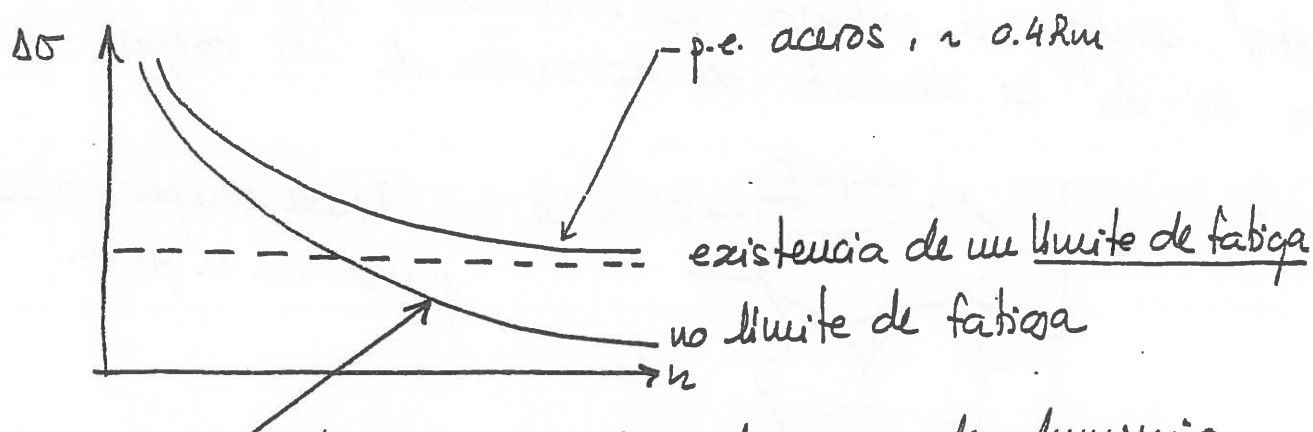
↪ curva $\frac{da}{dN} = f(\Delta K)$ velocidad de crecimiento de la grieta por ciclo.

- Región I: aumento rápido de la velocidad de crecimiento
 Región II: aproximadamente recta - Ley Paris: $\frac{da}{dN} = C(\Delta K)^n$
 Región III: se acerca el proceso hasta rotura.

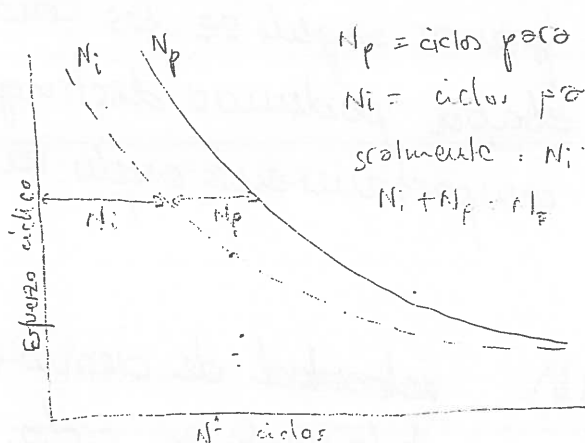
cuando en el borde de grieta se alcanza el K_{IC} crítico, se produce la rotura, la propagación catastrófica.

● Curvas S-N. Curvas de Wöhler

son representaciones que muestran el n° de ciclos hasta rotura de una probeta en función de la tensión variable aplicada. Distinguimos dos comportamientos a fatiga:



En algunos materiales, como las aleaciones de aluminio, la curva S-N decrece continuamente \Rightarrow en principio, para cualquier carga, la pieza acaba rompiendo. No tiene asíntota horizontal.

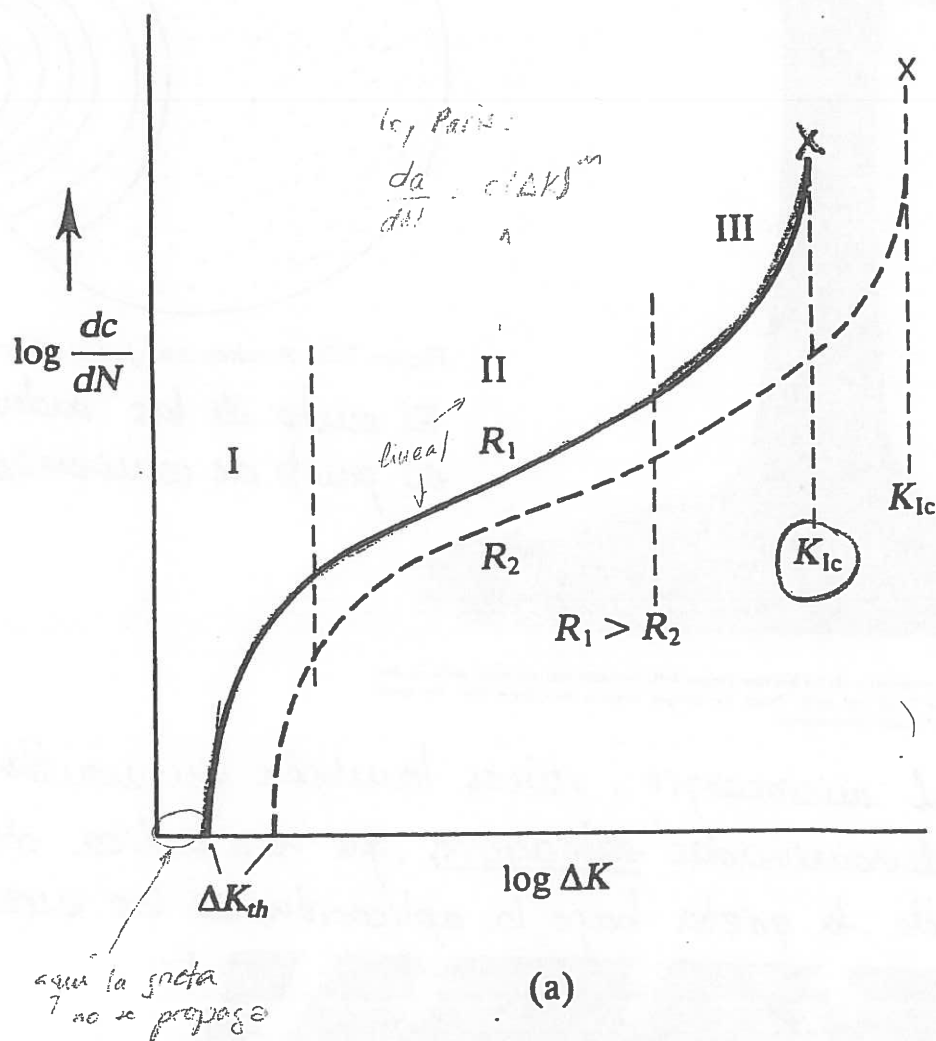


N_p = ciclos para la propagación
 N_i = ciclos para la iniciación
 solamente: $N_i > N_p$
 $N_i + N_p = N^f$

Se cumple mucho más "tiempo" en la nucleación de la grieta que en la propagación.

ETAPA II DE PROPAGACIÓN DE LA GRIETA

$$\frac{da}{dN} \sim A(\Delta K)^m$$



12.16

(a) Schematic of crack-growth rate as a function of the cyclical stress intensity factor $\Delta K (= \alpha \Delta \sigma \sigma_c^{1/2})$ for different R values. At very low ΔK values, dc/dN becomes very small; so much so, in fact, that ΔK_{th} , a stress-intensity factor below which Stage II cracks will not propagate, can be identified. As R is increased, ΔK_{th} decreases. In Region II the crack-growth rate - ΔK relationship is described by the power-law equation (12.5), which yields a straight line on the logarithmic coordinates of this figure. As in Region I, dc/dN increases with R , but in Region II, dc/dN is less sensitive to R than in Region I. Crack-growth rates are quite sensitive to R during Region III, where high ΔK values promote rapid Stage II crack-growth rates. Fracture (marked by \times) takes place when $K_{max} = K_{Ic}$; clearly, for a given stress amplitude, K_{Ic} decreases as R increases. (Alternatively, final fracture may take place by tensile separation.)

veamos que la grieta
comenzó en el interior
de la pieza, luego
debía tener algún
defecto.

← Aspecto de una pieza rota
por fatiga, mostrando su relieve
característico: "playas"

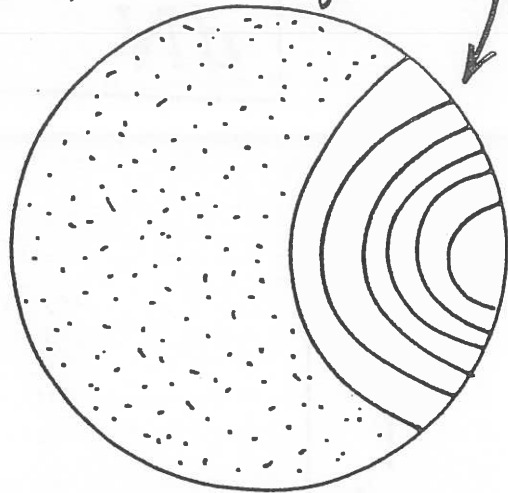
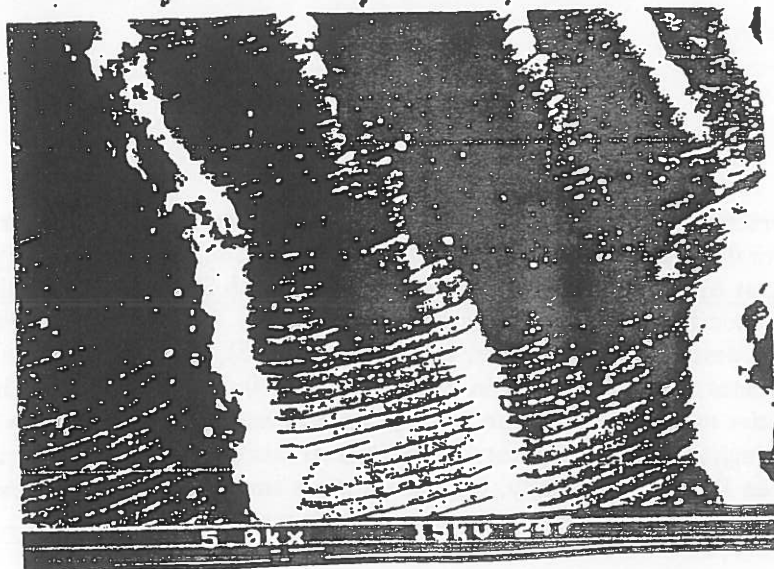


Figure 7.76 A schematic fatigue fracture.

El centro de las "ondas" indica
el punto de comienzo

Fig. 70 Macrograph of a rail that contained a detail fracture (upper left, beneath the rail head surface) that was placed in service in the FAST test track. Note the fatigue fracture that grew from the detail fracture. 0.75 X. (R. Rungta, Battelle Columbus Laboratories)

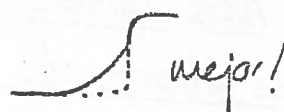
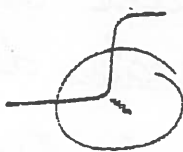
Si miramos al microscopio, vemos también un patrón de
líneas paralelas, denominadas estricaciones, que nos indica cómo ha
ido evolucionando la grieta bajo la aplicación de los sucesivos ciclos.



● Factores que favorecen la fatiga

En general será todo lo que favorezca la nucleación de la grieta, luego para empezar, todo lo que afecte a la superficie.

- Ambiente exterior agresivo. Formación de puentes de cohesión de tensiones, interacción fatiga-corrosión en el crecimiento de grieta.
- Defectos superficiales o grietas preexistentes, pues le facilitamos mucho el trabajo! lo que más cuesta es nuclear una grieta; si se lo damos ya hecho,...
- Mal acabado superficial
- Existencia de tensiones medias de tracción
- Presencia de zonas con fuerte concentración de tensiones de la pieza, como esquinas:



- El aumento de temperatura provoca una mayor facilidad de la deformación plástica asociada al proceso

IT => favorece movilidad de las dislocaciones

- Mala calidad del material: existencia de grandes inclusiones

- Estructura granular blanda → *se nuclea antes la grieta*

- Presencia de capas blandas en la superficie:

- Descarburación en aceros

- Plaqueado en aleaciones de aluminio

↑ aunque esto es inevitable si quiero evitar el problema de la corrosión.

● Acciones positivas frente a la fatiga

- Endurecer la superficie mediante tratamientos específicos:
 - Cementación, nitruración, temple superficial, y otras, en aceros
 - Acritud superficial (granallado o "shot peening")
- Muchos de estos tratamientos generan además tensiones locales de compresión, que son beneficiosas
- Buen acabado superficial
- Evitar zonas de concentración de tensiones en el diseño → esquinas, p.ej.
- Tener un material de buena calidad
- Tener un tamaño de grano fino en la pieza
- Propiedades idóneas para resistir a fatiga:
 - Altos ciclos: elevada dureza y límite elástico, pues se retrasa la nucleación de la grieta
 - Bajos ciclos: elevada ductilidad y endurecimiento por acritud, pues se retrasa el crecimiento de la grieta