

PRECICLADO A BAJA DEFORMACION EN INICIACION DE FISURAS POR FATIGA

Alejandro Font Filax
Javier Mulet Evans

Departamento Ingeniería Mecánica y Metalurgia
Pontificia Universidad Católica de Chile

En este trabajo se estudió la acumulación de daño en la etapa de iniciación de fisuras. Para esto se vió en particular el efecto de un preciclado a $+ 0,25\%$, de amplitud de deformación diametral total, cuando era seguido de postciclados $+ 0,5\%$, $+ 0,75\%$ y $+ 1\%$. Se ensayaron probetas hasta la iniciación de la propagación en Modo I de apertura para determinar el número de ciclos a la iniciación N , a cada nivel de deformación a considerar. El estudio se hizo para fracciones de vida a la iniciación n/N , en que las fracciones de preciclado a $+ 0,25\%$ se hicieron variar entre $0,012$ y 1 . Para ver la posibilidad de extender los resultados se estudió otros preciclados.

Un resultado fué que fracciones de vida a la iniciación entre $0,012$ y $0,09$ del preciclado producen una reducción poco mayor que 30% en la acumulación total de daño a la iniciación para cualquiera de los postciclados. Otro resultado fué que fracciones de vida a la iniciación entre $0,012$ y $0,30$ del preciclado dejan una fracción residual de daño para el postciclado casi constante y del orden de 60 a 70 por ciento. Se discuten estos aspectos y su significado microestructural.

1.- INTRODUCCION

En general el fenómeno de acumulación de daño en fatiga plástica ha recibido bastante atención. La mayor parte de los investigadores han tomado la acumulación de daño lineal de Miner como referencia y N_f la vida a la ruptura. Como un intento para mejorar las predicciones Manson /1/ desarrolló un modelo bilingüe, en el que reconoce que físicamente existe una diferencia entre la etapa de iniciación y de propagación de fisuras. En cada una de dichas etapas propone usar la relación de Miner:

$$\sum \frac{n_i}{N_i} = 1 \qquad \sum \frac{n_p}{N_p} = 1$$

en que los subíndices i y p indican iniciación y propagación respectivamente según Manson hay ruptura cuando se cumplen ambas relaciones.

Aparte de reconocer el interés en separar las fases de iniciación y propagación, no se pudo durante bastante tiempo determinarlas experimentalmente y en la mayoría de los trabajos se toma como fin de la iniciación el que se haya desarrollado una microfisura de una cierta talla crítica, la que según diversos autores oscila entre $a_c = 10 \mu\text{m}$ y $100 \mu\text{m}$, por ejemplo Maiya (2). Conviene hacer notar que es ampliamente reconocida la existencia de tres etapas, por ejemplo Lukas y Klesnil /3/:

- 1.- Iniciación propiamente tal, con el desarrollo de una subestructura de dislocaciones y formación de intrusiones y extrusiones en la superficie del metal.
- 2.- Crecimiento cristalográfico, más bien según un plano cristalográfico próximo al corte máximo (Stage I).
- 3.- Propagación, más bien según un plano promedio normal a la tracción-compresión (Stage II).

Actualmente es posible determinar experimentalmente la transición Stage I-Stage II mediante el método eléctrico o microscopía óptica durante el ensayo, Font, Taupin, Bathias /4/. Mediante esta ayuda ya no es necesario suponer una longitud crítica de fisura como criterio de iniciación. Un modelo de acumulación de daño que involucra la iniciación y Stage I fué propuesto por Miller y Zachariah /5/. En ese trabajo postulan que la acumulación de daño en la iniciación y Stage I son lineales, pero con distinta pendiente, la frontera entre ambos estados la determinan mediante análisis de los datos experimentales y el parámetro para describir el daño es la fisura, considerando como tal incluso a la rugosidad. Investigaciones recientes, Bathias et al. /6/, muestran que el problema sigue insoluto.

En nuestro trabajo hemos tomado como preciclado una amplitud de deformación diametral total, $\pm 0,25\%$, y para varias fracciones de vida hemos continuado con postciclados de $\pm 0,5\%$, $\pm 0,75\%$ y $\pm 1\%$ hasta iniciación en Stage II con observaciones ópticas de la transición.

Nuestros resultados no pueden ser explicados mediante los modelos anteriores.

2.- PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL Y RESULTADOS

Se usaron probetas de sección circular y perfil variable, lisas y pulidas electrolíticamente, de acero inoxidable Cr, Ni. Los ensayos se realizaron en una máquina servohidráulica bajo control de la amplitud de deformación diametral total, forma de ciclo sinusoidal y frecuencias entre 0,1 y 0,5 Hz, con un sistema especial de mordazas, atmósfera normal del laboratorio y temperatura ambiente.

La superficie de la probeta se observó continuamente con un microscopio transversal y se definió la iniciación en Stage II cuando los labios de las microfisuras se mueven en sentido de abrir y cerrar, como se explica en /4/. Se realizaron los siguientes ensayos:

- 1.- Hasta ruptura total, N_f : $\pm 0,25\%$, $\pm 0,50\%$, $\pm 0,75\%$, $\pm 1\%$.
- 2.- Hasta iniciación, N_i : idem.
- 3.- Preciclado a $\pm 0,25\%$, para fracciones de vida a la iniciación n/N , desde 0,012 a 1, seguido de postciclado a $\pm 0,5\%$ hasta iniciación. Análogamente para postciclados de $\pm 0,75\%$ y 1% .
- 4.- Preciclado a $\pm 0,5\%$, para fracciones de vida a la iniciación n/N , desde 0,034 hasta 1 seguido de postciclado a $\pm 0,75\%$ hasta iniciación.

La Figura 1 muestra los resultados de vida a la ruptura N_f y a la iniciación N_i .

La Figura 2 muestra la fracción de vida a la iniciación, para los postciclados, para distintos valores de fracciones de vida del preciclado a $\pm 0,25\%$.

La Figura 3 muestra el caso del preciclado a $\pm 0,5\%$ con postciclado $\pm 0,75\%$.

En todos los casos se ven numerosas microfisuras cuyos labios se mueven, pero que no lo hacen en el sentido de abrir y cerrar, lo que indica Stage I. Cuando se alcanza el Stage II sólo unas pocas microfisuras entran en este estado y no todas al mismo tiempo.

3.- DISCUSION

En la Figura 2 se ve que para el preciclado a $\pm 0,25\%$ de amplitud de deformación diametral total las fracciones de vida entre 0,3 y 1 dejan fracciones de vida residuales a la iniciación que pueden ser descritas en primera aproximación mediante una acumulación de daño lineal, como lo hace Manson /1/ en la fase de iniciación. En la misma figura se ve que para fracciones de preciclado entre 0,012 y 0,3 la fracción de vida residual a la iniciación es casi constante para postciclados entre $\pm 0,5\%$ y $\pm 1\%$. En general es notable que un preciclado a bajo nivel da una fracción de vida acumulada inferior a 1. En lo que sigue desglosaremos estas observaciones en una discusión gradual.

En un primer acercamiento podríamos decir que, visto por el postciclado, el daño del preciclado es prácticamente el mismo y del orden del 35%, cualquiera que sea la fracción de preciclado entre 0,01 y 0,30. Esto podría interpretarse como que el estado del material para un preciclado de 0,01 o de 0,30 es prácticamente el mismo si el ciclado se continuara por un postciclado a 0,5%, 0,75% ó 1% de amplitud de deformación. Siguiendo la idea podemos pensar que los ciclos iniciales, hasta 0,01, han causado un cambio rápido en el material, cambio que se ha estabilizado posteriormente. A este nivel podríamos decir que en los primeros ciclos se forma una subestructura de dislocaciones que condiciona la evolución posterior de ella y que culmina para una fracción de vida de 0,30, momento en que

comienza la etapa de fisuración cristalográfica (Stage I) que dura hasta una fracción igual a 1, fin de la iniciación de fisura (Stage II). Esta interpretación nos lleva a pensar que la etapa de fisuración cristalográfica se alcanza en pocos ciclos de postciclado para los distintos preciclados, o lo que es lo mismo, a partir de las distintas microestructuras que éstos generaron. En apoyo de este razonamiento podemos citar el trabajo de Young y Greenough /7/ quienes aplicaron una fracción de vida y repulieron la muestra eliminando unos 100 μm , hicieron esto diez veces obteniendo una fracción de vida acumulada del orden de 3.

Otro caso similar de repulido es mostrado en el libro de McClintock/8/ en que se muestra como un repulido hecho antes del 10% de la vida total no logra borrar toda la deformación subyacente a la superficie y que en las trazas que quedan, las que se siguen desarrollando en los ciclos posteriores, terminan por formarse microfisuras. Aunque estos casos corresponden a ciclados en tensiones mucho menores que las nuestras, la naturaleza de los fenómenos es similar y la tendencia sería en el sentido de tener los mismos fenómenos, pero para fracciones de vida menores, cosa que ocurre con nuestros resultados.

Pasemos ahora a una inspección más detallada de la Figura 2, ahí vemos marcada una banda de daño total acumulado entre 0,65 y 0,70 y vemos que para preciclados entre 0,01 y 0,09 el daño del preciclado y del postciclado se adecúan para dar ese total; adecuación similar a la acumulación de daño lineal de Miner con límite 1, pero aquí con 0,65 a 0,70. Después de esta fracción de preciclado (0,09) y hasta 0,30, el daño acumulado total aumenta acercándose a 1. El comportamiento en el primer tramo, de 0,01 a 0,09, nos indica que el daño debido al preciclado aumenta efectivamente disminuyendo en la misma proporción el daño residual del postciclado, pero siempre, con el valor reducido del acumulado total. El comportamiento en el segundo tramo indica que el daño residual es casi constante, pero que el acumulado total aumenta, o sea, que los ciclos en exceso de la fracción 0,09 no disminuyen la vida residual sino que sólo aumentan el valor numérico del daño total. Se podría decir que esos ciclos "no dañan" al material. Vemos así que es posible distinguir dos etapas antes de iniciarse la fisuración cristalográfica: una primera etapa relacionada con una evolución de la microestructura de dislocaciones y que se extiende hasta 0,09 y otra de formación de las primeras microfisuras que se extendería hasta 0,30, de ahí en adelante estaríamos en la etapa de fisuración cristalográfica (Stage I).

Finalmente la Figura 3 nos muestra que el preciclado a $\pm 0,5\%$ frente a un postciclado a nivel $\pm 0,75\%$ tiene un comportamiento similar.

4.- CONCLUSIONES

En el material estudiado se distinguen tres etapas a la iniciación de fisuras en modo I de abertura o Stage II.

Para un preciclado a $\pm 0,25\%$ la primera etapa se produce para fracciones de preciclado entre 0,012 y 0,09 que reducen la acumulación de daño total a la iniciación de 1 a 0,65 ó 0,70 para postciclados de $\pm 0,5\%$, $\pm 0,75\%$ y $\pm 1\%$. La segunda etapa va de 0,09 a 0,30 y el daño acumulado total se recupera regularmente hasta poco menos de 1. La tercera etapa va de 0,3 a 1 y el daño acumulado total vale aproximadamente 1.

En las dos primeras etapas el daño residual es casi independiente de la fracción de preciclado (banda de 10%). La secuencia $\pm 0,5\% - \pm 0,75\%$ presentó un comportamiento análogo.

REFERENCIAS

- /1/ Manson, S. S. y Freche, J. C. and Ensign, C. R. "Application of a Double Linear Damage Rule to Cumulative Fatigue". ASTM STP 415. Fatigue Crack Propagation 1967, 384.
- /2/ Maiya, P. S. "Considerations of Crack Initiation and Crack Propagation in Low Cycle Fatigue". Scripta Metallurgica Vol. 9, 1975, 1141.
- /3/ Lukas, P. and Klesnil, M. "Fatigue Damage and Resultant Dislocation Substructures". Proceedings of an Int. Conf. on Corrosion Fatigue, U. of Connecticut Storrs. 1971, Paper 12.
- /4/ Font, A., Taupin, Ph. et Bathias, C. "Detection de L'amorçage des Fissures en Fatigue Oligocyclique", Ecole International d'été Sur la Fatigue des Materiaux et des Structures". Sherbrooke, Canadá 1978.
- /5/ Miller, K. J. and Zachariah, K. P. "Cumulative Damage Laws for Fatigue Crack Initiation and Stage I Propagation". Journal of Strain Analysis. Vol. 12, N° 4, 1977, 262.
- /6/ Bathias, C., Gabra, M., Aliaga, D. "Low Cycle Fatigue Damage Accumulation of Aluminum Alloys, ASTM STP 770, 1982, 23.
- /7/ Young, J. M. and Greenough. In J. Int. Met., 89, 1960/61, 241 citado en /3/.
- /8/ Mc Clintock, F. A., Argon, A. S. Mechanical Behavior of Materials, Ch. 18 Fatigue, Mechanisms of Crack Initiation, Addison Wesley 1966.

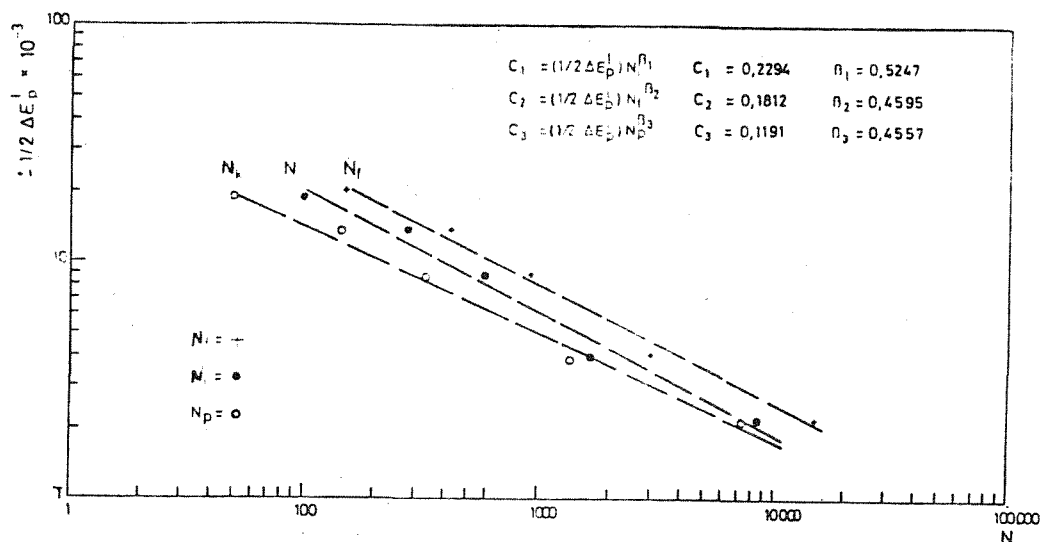


FIG. 1
 RELACION DE COFFIN-MANSON PARA INICIACION DE FISURAS N_i , PROPAGACION DE FISURAS N_k Y VIDA TOTAL N_p , ACERO AISI-316 L

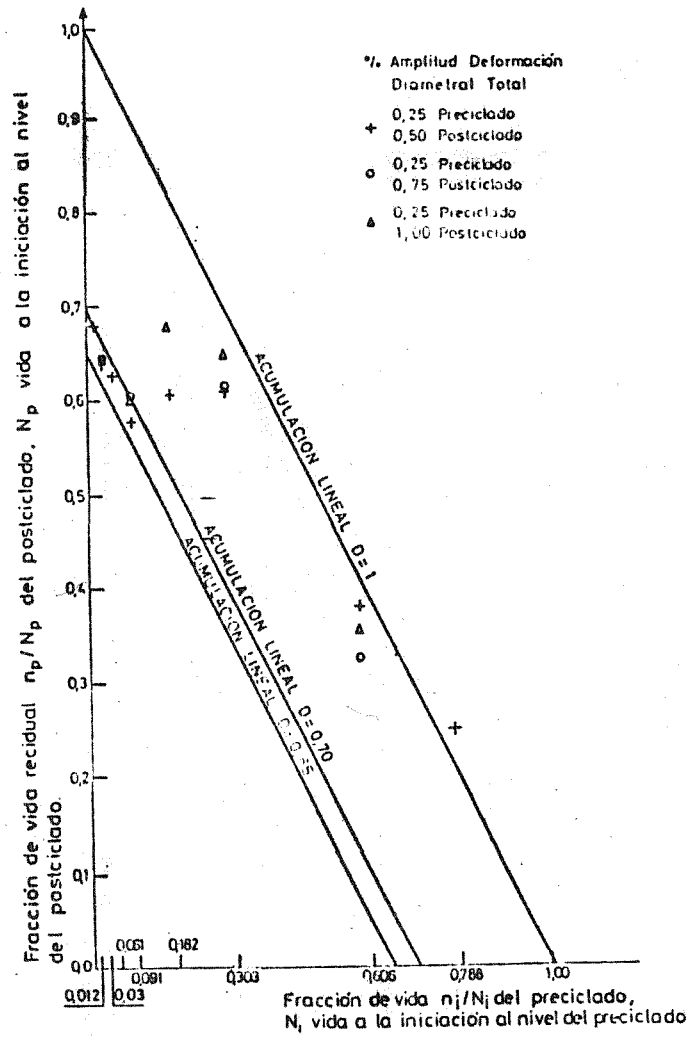


FIG 2
ACUMULACION DE DAÑO A LA INICIACION PARA UN PRECILLADO A $\pm 0,25\%$,
ACERO AISI -316 L

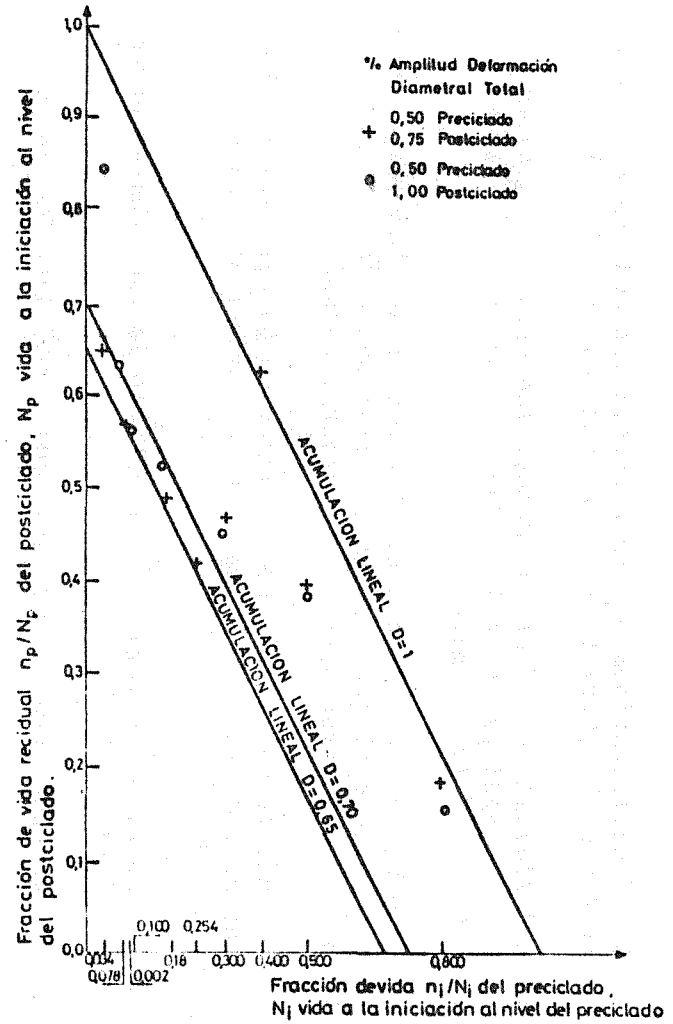


FIG 3
ACUMULACION DE DAÑO A LA INICIACION PARA UN PRECILLADO A $\pm 0,50\%$,
ACERO AISI -316 L