

EFECTO DE LA PRE-FISURACIÓN POR FATIGA SOBRE LA CORROSIÓN BAJO TENSION DE MATERIALES

E. A. Jáñez* y J. Toribio*

E.Ingeniería de Materiales, universidad de Salamanca
E.P.S., Campus Viriato, Avda. Requejo 33, 49022 Zamora
Correo-e: ealvar1@roble.pntic.mec.es
Tel: (980) 54 50 00; Fax: (980) 54 50 02

Resumen. En este trabajo se estudia la relación entre el nivel de prefisuración por fatiga y la posterior corrosión bajo tensión, analizando en particular factores clave como son la velocidad de deformación local (extremo de fisura) y la tensión hidrostática. Para ello se realiza la simulación con un programa de elementos finitos de una placa fisurada sometida a distintos niveles de carga en la etapa de prefisuración y posterior carga lineal, utilizando tres aceros de distinto límite elástico, obteniéndose que el nivel de prefisuración por fatiga no parece influir en la velocidad de deformación local en el extremo de la fisura.

Abstract. This work studies the relationship between the fatigue precracking level and the posterior stress corrosion cracking, analyzing in particular key factors such as the local (crack tip) strain rate and the hydrostatic stress. To this end, a numerical simulation by the finite element method was performed on a cracked plate subjected to different loading levels during the precracking stage and posterior lineal loading, using three steels of different yield strength, thus obtaining that the fatigue precracking level does not seem to influence the local strain rate at the crack tip.

ÁREAS TEMÁTICAS PROPUESTAS: Técnicas experimentales.

PALABRAS CLAVE: Corrosión bajo tensión, Prefisuración, Tensión hidrostática.

1. INTRODUCCIÓN

La figuración por corrosión bajo tensión (CBT) es una de las principales causas de rotura de los elementos estructurales. No se conocen aún todos los mecanismos de fractura por CBT y se buscan modelos que expliquen el conjunto de la fenomenología existente. El interés del estudio que se presenta se basa en resultados de investigaciones anteriores, de naturaleza experimental, en los que se aprecian variaciones en la carga de rotura en ambiente agresivo en función del nivel del último escalón de prefisuración por fatiga.

El conjunto de variables que afectan a la CBT es amplio: material, medio, estado tenso-deformacional,... y además estas variables cambian en ciertas ocasiones. Está probado que existe un pH menor (más ácido) en el fondo de la fisura que se va acrecentando a medida que avanza el ensayo incluso en soluciones muy alcalinas. Se ha demostrado [1] que en aceros perlíticos de alta resistencia y diferentes grados de trefilado la tenacidad de fractura en ambiente agresivo es mayor que en aire cuando se trabaja en régimen de pH=12,5; potencial E = -650mV ECS. La explicación de esta aparente contrariedad (la oxidación de la fisura beneficia el comportamiento en CBT) se debe al efecto del redondeo de la punta de la fisura [2,3]. Este proceso se da generalmente por oxidación y pasivación de la capa más externa, ruptura de dicha capa por deformación (debida al ensayo) y posterior pasivación, lo cual sería un proceso por pasos de dicho efecto de redondeo.

La *fisuración asistida por hidrógeno (FAH)* o *fragilización por hidrógeno* es el mecanismo más básico en régimen catódico y consiste en una absorción y difusión del hidrógeno producido en la reacción química de oxidación-reducción (reducción del agua dando anión hidróxido e hidrógeno gas) que una vez dentro del material produce una fragilización en la zona próxima al fondo de la fisura. Resulta un mecanismo muy peligroso y así se ha encontrado que la tenacidad de fractura de aceros perlíticos de alta resistencia se reducía prácticamente a la mitad [1]

De los párrafos anteriores se deduce la importancia del fenómeno CBT en sus distintas variantes. Para evaluarlo en laboratorio es necesario disponer de probetas fisuradas, que no es posible mecanizar. Por definición la fisura es "micro" y el radio de curvatura del fondo de la misma tiende a cero. Por ello las probetas entalladas son meras aproximaciones a lo que sucede en el fondo de la fisura. Ante la imposibilidad de mecanizar una probeta fisurada se opta por el método de prefisuración por fatiga. Básicamente consiste en hacer crecer una fisura por fatiga a partir de una entalla hasta el valor deseado que interese para un ensayo posterior de CBT. La fisuración se realiza con una serie de escalones de amplitudes decrecientes (ya se trate de carga, desplazamiento o K_{IC}).

La primera etapa de fatiga con cargas elevadas (alto % de la K_{IC}) se utiliza para iniciar el crecimiento de la fisura, pero no se continúa con ella porque plastificaría

mucho el material en la zona de la fisura y aparecerían a continuación tensiones residuales compresivas debidas al constreñimiento al que la zona plástica se ve obligada por efecto de la compresión de la zona elástica que la rodea. Una vez iniciada la fisura se hace crecer con una serie de escalones de carga y se termina por un escalón de más larga duración y con un bajo porcentaje de K_{IC} cuyo objetivo es limpiar el material lo más posible de tensiones residuales. Se trata de dejar el material fisurado lo más parecido posible al material de trabajo con una fisura de la longitud que interese.

Es importante señalar que el efecto de las sobrecargas en fatiga es beneficioso para la vida de la probeta [4] al aumentar considerablemente el n° de ciclos de fatiga hasta la rotura. Se debe lo anterior al efecto de las tensiones residuales compresivas en la zona de crecimiento de la fisura que tienden a coser la fisura de modo que primero hay que superar el nivel de compresión y posteriormente someter a la zona fisurada a una tracción determinada, aumentando de esta manera la vida de la pieza.

Toribio y Lancha [5] analizaron la influencia que tenían los distintos niveles de prefisuración por fatiga sobre la posterior CBT. Para ello fijaron cuatro ensayos tipo, en los cuales variaba el nivel tensional en el último escalón de la prefisuración por fatiga. Los niveles de dicho escalón se fijaron en tanto por ciento de la tenacidad de fractura del material y se eligieron los siguientes valores 28%, 45%, 60% y 80% de K_{IC} . Encontraron que a medida que aumenta el nivel de prefisuración por fatiga mejora el comportamiento del material en ambiente agresivo (aumenta el porcentaje de carga de rotura en solución agresiva frente al valor de carga de rotura en aire). La explicación hay que buscarla en la plastificación del material anteriormente expuesta en el caso de sobrecargas.

Teniendo en cuenta que las variables clave en la CBT son la velocidad de deformación local y la tensión hidrostática, se estudia en este trabajo la influencia que tienen los distintos niveles de prefisuración por fatiga sobre las variables tensionales, y especialmente sobre las antedichas tensión hidrostática y velocidad de deformación local, en la punta de la fisura.

2. PLANTEAMIENTO

El ejercicio de simulación mediante elementos finitos trata de calcular en una placa fisurada (fisura de borde) el campo tensional y deformacional en la fisura, en la zona de dominio de K.

2.1. Material

Se toman tres materiales denominados A0, A3, A6, correspondientes a tres aceros de diferente límite elástico (distintos grados de trefilado): A0 (alambrón, acero antes de trefilar), A3 (acero trefilado de un paso intermedio), A6 (acero de pretensado comercial fuertemente trefilado).

La composición química del acero de partida es como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición química del acero (%)

C	Mn	Si	P	S	Al	Cr	V
0.80	0.69	0.23	0.012	0.009	0.004	0.265	0.060

Para estos aceros el módulo de elasticidad es de 200 GPa y el coeficiente de Poisson de 0,3 [6].

2.2. Geometría

La geometría a considerar en el caso del A0 es la de una placa rectangular de espesor unidad, 12mm de ancho y 200mm de largo, que se podría corresponder con la sección central de un redondo. Esta placa tiene una fisura de borde como ilustra la figura B.8 de 3.6mm, que guarda la relación $a/D=0.3$, siendo a la longitud de la fisura y D el ancho de la placa.

Manteniendo la misma relación longitud de fisura-diámetro para el caso del acero A3 se tiene: $a=2,6mm$; $D=8,9mm$; y para el acero A6 los valores son $a=2,0mm$ y $D=7mm$. Se considera el caso de deformación plana. Los datos mecánicos y geométricos de las probetas de trabajo son los que aparecen en la Tabla 2.

Tabla 2. Propiedades mecánicas y relaciones geométricas de los aceros

Acero	A0	A3	A6
$100 \times D_i / D_o$	1	74	58
D_i (mm)	12	8.90	7.00
$100 \times (A_0 - A_i) / A_o$	0	45	66
$\sigma_{0.2}$ (Gpa)	0.686	1.212	1.506
σ_R (Gpa)	1.175	1.509	1.762
K_{IC} (Mpam ^{1/2})	60	74	107

2.3. Mallado

Para el programa de elementos finitos se ha tomado una malla con elementos cuadriláteros de 4 nodos y triangulares de 3 nodos como se puede observar en las figuras 1 y 2 (zoom de la figura 1 en el fondo de fisura).

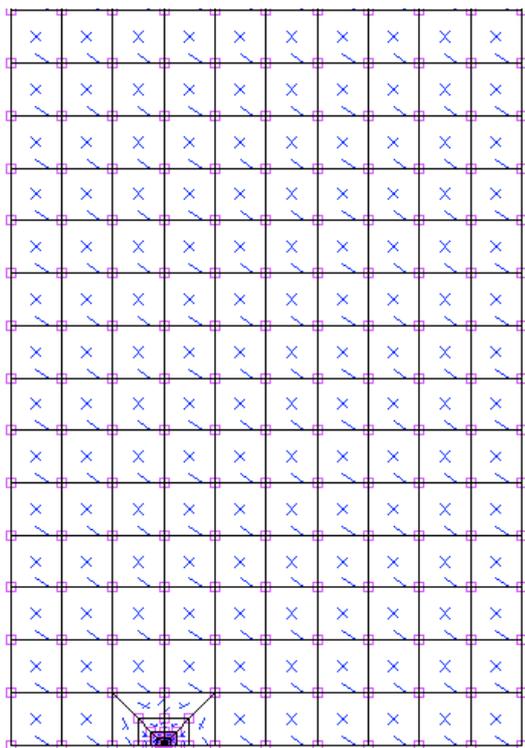


Figura 1. Mallado de la placa

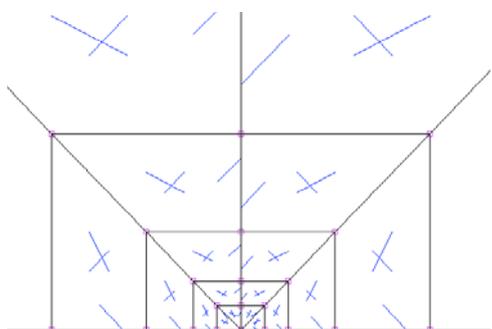


Figura 2. Zoom en el fondo de la fisura de la placa representada en la figura 1.

2.4. Solicitaciones

Sobre la placa fisurada con la geometría anteriormente expuesta se van a efectuar cargas de fatiga con un nivel máximo de carga correspondiente respectivamente al 28% K_{IC} , 45% K_{IC} , 60 % K_{IC} ; 80% K_{IC} . Además se impondrá una sollicitación a velocidad de deformación constante, (*slow strain rate test SSRT*) que en este trabajo se simula mediante un desplazamiento impuesto hasta 0.5mm, sin importar la velocidad pues únicamente interesa la sollicitación mecánica. Se simulan así los ensayos reales, con una velocidad que varía entre $3.0 \times 10^{-3} \text{m /min}$ y $1.7 \times 10^{-3} \text{m /min}$, siguiendo una relación lineal. El perfil de historia de carga en cada una de las simulaciones es como se observa en la figura 3.

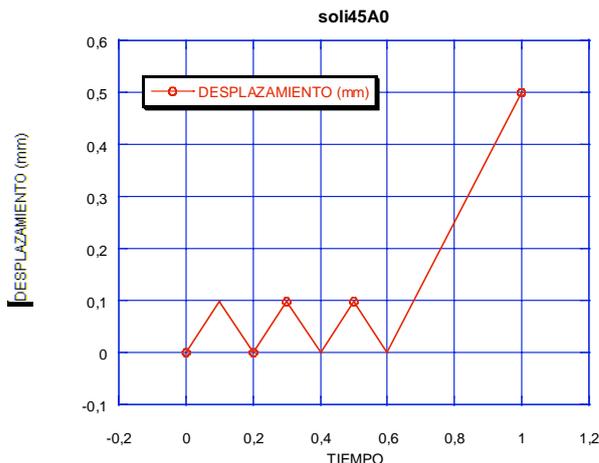


Figura 3. Sollicitación impuesta a la probeta

3. RESULTADOS

Se presentan como resultados del artículo la tensión de Von Mises y la tensión hidrostática en el fondo de fisura para distintos niveles de prefisuración en el acero A0 como puede observarse en las figuras 4 y 5.

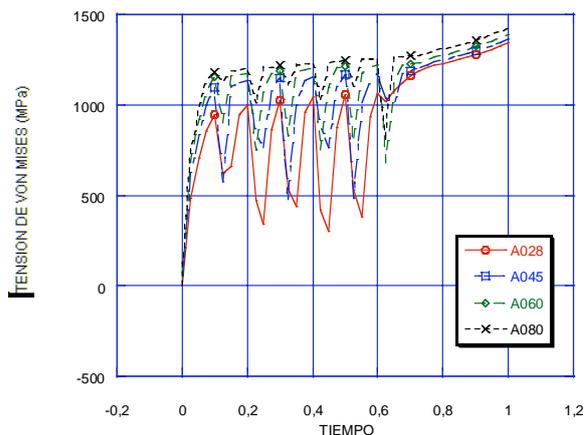


Figura 4. Tensión de Von Mises frente a tiempo

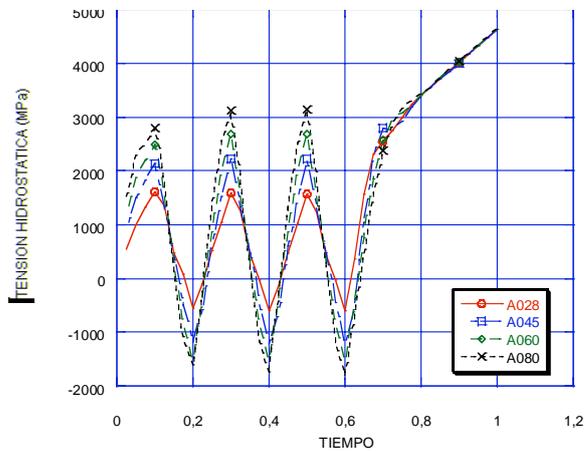


Figura 5. Tensión hidrostática frente a tiempo.

También se han analizado otras variables, como se puede apreciar en la figura 6 donde se representa la componente “yy” del tensor de deformaciones frente al tiempo, observándose una evolución independiente del nivel de prefisuración aplicado. Tanto en esta como en otras variables analizadas se ha encontrado un comportamiento similar.

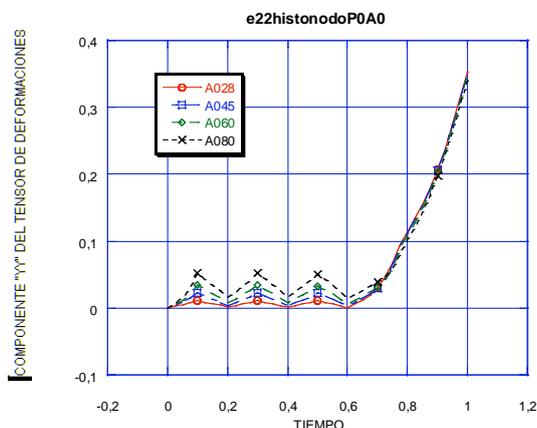


Figura 6. Componente yy del tensor de deformaciones frente al tiempo.

En el resto de puntos analizados próximos al fondo de la fisura los resultados son similares. También se obtienen resultados similares analizando los aceros A3 y A6.

4. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en este trabajo embrionario no parecen explicar las relaciones encontradas entre el nivel de prefisuración por fatiga y los fenómenos observados en corrosión bajo tensión. En efecto, Toribio y Lancha [6] analizaron los efectos que las sobrecargas en la prefisuración por fatiga tenían en la posterior corrosión bajo tensión en aceros perlíticos, encontrando que a medida que aumentaba el nivel de sollicitación en la prefisuración por fatiga el porcentaje de carga de rotura en solución agresiva frente a la carga de rotura en aire iba aumentando, lo cual sucedía para todos los potenciales. No obstante, en este trabajo no se aprecian relaciones entre dichos niveles de prefisuración y la evolución de las ciertas variables clave durante el propio ensayo (al menos en las fases más avanzadas del mismo), por lo cual los efectos serían más bien atribuibles, o bien a los primeros estadios del ensayo CBT (jugando así un papel clave dentro del propio ensayo), o bien a otros fenómenos de alteración del material en la punta de la fisura (pre-daño irreversible, efectos posteriores de la corrosión sobre el pre-daño, etc) que resultarían determinantes en el fenómeno de corrosión bajo tensión.

5. CONCLUSIONES

A la vista de los resultados no se encuentra influencia del nivel de prefisuración por fatiga en la evolución de las variables analizadas en el fondo de la fisura, pues se observa en todas las gráficas que sea cual sea el recorrido seguido en la prefisuración por fatiga (28% K_{IC} , 45% K_{IC} , 60 % K_{IC} ; 80% K_{IC}), una vez pasado este tramo las gráficas convergen todas ellas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean hacer constar su agradecimiento a las siguientes instituciones: MCYT-FEDER (Proyecto MAT2002-01831), MEC (Proyecto BIA2005-08965), Junta de Castilla y León (Proyectos SA078/04 y SA067A05) y Fundación “Memoria de D. Samuel Solórzano Barruso”.

REFERENCIAS

- [1] Ovejero, E. (1998). Fractura en ambiente agresivo de aceros perlíticos con distinto grado de trefilado. Tesis Doctoral, Universidad de La Coruña.
- [2] Chu, W.Y., Hsiao, C.M., Li, S.Q. (1979). A new engineering fracture toughness parameter $K_{ISCC}(\rho)$ *Scripta Metallurgica* **13**, 1057-1062.
- [3] Handerhan, K.J., Garrison, W.M. (1992). A study of crack tip blunting and influence of blunting behaviour on the fracture toughness of ultra high strength steels. *Acta Metallurgica et Materialia* **40**, 1337-1355
- [4] Schijve, J., Broek, D. (1962). Crack propagation tests based on a great spectrum with variable amplitude loading. *Aircraft Engineering* **34**, 314-316.
- [5] Toribio J., Lancha, A.M. (1996). Overload retardation effects on stress corrosion behaviour of prestressing steel. *Construction and Building Materials* **10**, 501-505.
- [6] Toledano, M. (1998). Fatiga y fractura de aceros perlíticos con distinto grado de trefilado. Tesis Doctoral, Universidad de La Coruña.