

EFFETTO DELLA VELOCITÀ DI TRAZIONE NELLE PROVE DI MECCANICA DELLA FRATTURA IN AMBIENTE AGGRESSIVO

A.Bennardo¹, G.Gabetta¹ e E.Sinigaglia²

¹*Eniricerche, via Maritano 26, 20097 S.Donato Milanese*

²*SNAM, via DeGasperi 2, 20097 S.Donato Milanese*

SOMMARIO: La determinazione della tenacità dei materiali in ambiente aggressivo può essere fatta utilizzando le tecniche e le normative normalmente impiegate per la meccanica della frattura in aria. La presenza dell'ambiente provoca una diminuzione dei carichi di soglia ed un aumento della velocità di propagazione. La quantificazione del legame tra velocità di trazione e velocità di deformazione all'apice della cricca è importante sia per chi vuole mettere a punto i metodi di prova per la meccanica della frattura in ambiente, che per l'applicazione di modelli per la previsione di vita. Le prove sono state svolte su acciaio microlegato (X65) per condotte e i risultati confrontati con dati di letteratura.

PAROLE CHIAVE: Tensocorrosione, J_{Ic} , SENB, Potential Drop, Acciaio X65

INTRODUZIONE

Alcune coppie materiale-ambiente sono suscettibili al fenomeno della tensocorrosione, che si manifesta con la formazione e la crescita di difetti in presenza di carico meccanico e di un ambiente più o meno aggressivo. Per la valutazione quantitativa dei fenomeni di tensocorrosione e per la caratterizzazione dei materiali dal punto di vista della resistenza a questo tipo di danneggiamento, è necessario determinare le soglie di carico per la propagazione delle cricche, e la loro velocità di crescita in condizioni che simulano quelle di esercizio. Le tecniche di prova su provini precriccati normalmente usati per la determinazione dei parametri di meccanica della frattura possono essere trasferite alla situazione dei materiali che lavorano in contatto con l'ambiente, senza particolari problemi dal punto di vista sperimentale (Dietzel, 1995; Gabetta, 1995).

Il metodo di prova utilizzato sostanzialmente consiste in una trazione lenta (prova tipo SSRT) svolta in ambiente su campioni precriccati e dovrebbe permettere di determinare con una sola prova e in tempi ragionevoli sia i valori di soglia (J_{Ic} , K_{ISCC}) che la velocità di crescita delle cricche (Dietzel, 1994; BCR 930038). È ben noto che gli acciai microlegati per tubazioni sono suscettibili a tensocorrosione (SCC) in soluzioni diluite a pH vicino alla neutralità. Il fenomeno è caratterizzato da cricche transgranulari che si presentano in occasione di transitori lenti di carico. Si tratta di un fenomeno che avviene in situazioni in cui la protezione catodica non è efficace, tipicamente nelle zone di distacco del rivestimento nastrato (R.N.Parkins and B.S.Delanty).

ATTIVITA' SPERIMENTALE

Per questo programma di prova è stato scelto un X65 di fornitura ILVA la cui caratterizzazione meccanica è stata completata presso SNAM. La microstruttura di questo materiale presenta l'aspetto tipico degli acciai di questa classe, con struttura ferritico-perlitica a grani piuttosto piccoli (dimensione media $6,5\mu\text{m}$ secondo la norma ASTM E112). Sono inoltre evidenti bande di segregazione a durezza più elevata della matrice. Dal materiale prescelto sono stati ricavati campioni SEN (Single Edge Notched) (Fig. 1).

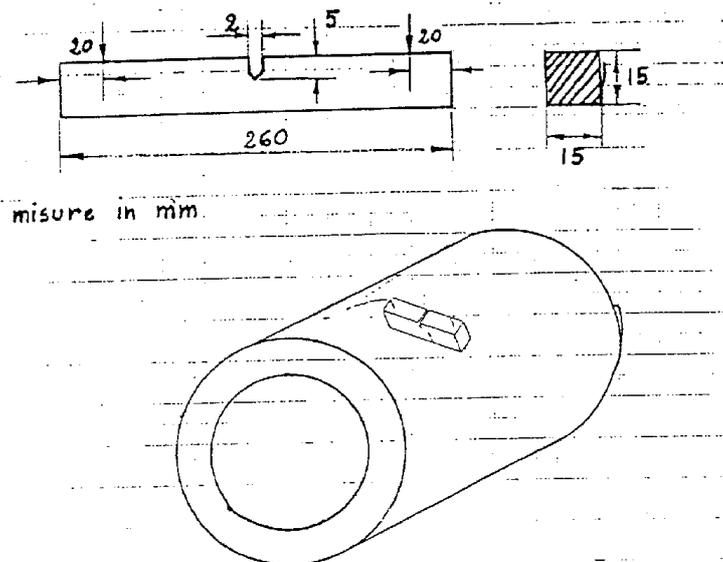


Figura 1: disegno del campione e della sua posizione rispetto al tubo.

Questi campioni vengono caricati a flessione su tre punti (secondo la norma ASTM E399-83), e sottoposti a diverse velocità di applicazione del carico. In Fig. 1 è indicata anche la posizione di prelievo dei campioni rispetto all'asse del tubo. Sono state svolte prove in aria e in ambiente. L'ambiente di prova era una soluzione acquosa a pH vicino alla neutralità contenente CO_2 , che simula le condizioni di campo. Sono stati acquisiti gli andamenti nel tempo dei seguenti parametri: carico, spostamento della traversa, lunghezza della cricca, apertura sulla bocca del provino tramite clip gage e potenziale elettrochimico del campione. La misura dell'avanzamento della cricca, sia in aria che in ambiente, è stato fatto tramite Potential Drop. Dopo ogni prova, i campioni sono stati rotti in aria. Le superfici di frattura sono state osservate sia al microscopio ottico (misurando l'effettiva lunghezza della precraccatura e della propagazione) che al SEM. La resistenza a frattura in campo elasto-plastico, J , è stata calcolata secondo le procedure definite in ambito ESIS [ESIS PI-92- Rice *et alii*, 1973], e ben consolidate per prove in aria. E' stato calcolato $J_{0,2}$ e un J ingegneristico corrispondente ad una propagazione di $10\mu\text{m}$.

RISULTATI

I risultati ottenuti sono riassunti in Tabella 1. In aria, sia dai risultati delle prove che dall'esame delle superfici di frattura, non è stato notato un effetto significativo della

velocità di trazione. In Figura 2 sono riportati i grafici J- Δa ottenuti in aria e in ambiente alla velocità di $3.2 \cdot 10^{-4}$ mm/s, e in Figura 3 quelli relativi alle prove a velocità $1.6 \cdot 10^{-5}$ mm/s. La differenza tra aria e ambiente è significativa in entrambi i casi, e aumenta al diminuire della velocità di trazione.

Anche i valori di J (tabella 1) mostrano una dipendenza della velocità di trazione. I valori più bassi si verificano a bassa velocità. Questo è confermato dall'esame delle superfici di frattura (figura 4), ottenute in aria e in ambiente a bassa velocità. In ambiente si notano zone fragili, o a bassa duttilità, che non sono presenti in aria. Data la geometria del provino e la presenza di inclusioni, l'avanzamento della cricca è stato in alcuni casi osservato lungo il piano perpendicolare a quello di frattura (Figura 5), tendenzialmente lungo le bande di segregazione. Questo ha reso a volte più difficile il calcolo dei valori all'innesco.

Tabella 1: Condizioni di prova e risultati

	Propagazione	Velocità di Trazione	J _{lc}	J	Velocità media da/dt
Sigla Campione	da (mm)	da/dt (mm/s)	(kN/m)	(kN/m)	(mm/s)
Z8-2 aria	0.69	$1.6 \cdot 10^{-5}$	124	7	$7 \cdot 10^{-7}$
Z8-3	0.18	$1.6 \cdot 10^{-5}$	79	-	$1.3 \cdot 10^{-6}$
Z8-9	0.95	$1.6 \cdot 10^{-5}$	53	5	$2.0 \cdot 10^{-6}$
Z8-TS7	1.66	$1.6 \cdot 10^{-5}$	37	2	$2.0 \cdot 10^{-6}$
Z8-5	1.23	$3.2 \cdot 10^{-5}$	35	3	$4.3 \cdot 10^{-6}$
Z8-6	1.35	$3.2 \cdot 10^{-5}$	41	4	$3.9 \cdot 10^{-6}$
Z8-TS1	1.23	$3.2 \cdot 10^{-5}$	30	2	$4.5 \cdot 10^{-6}$
Z8-TS3 aria	0.7	$3.2 \cdot 10^{-5}$	65	3	$2.5 \cdot 10^{-5}$
Z8-4 aria	1.04	$3.2 \cdot 10^{-4}$	74	3	$1.7 \cdot 10^{-5}$
Z8-8 aria	1.11	$3.2 \cdot 10^{-4}$	53	2	$1.9 \cdot 10^{-5}$
Z8-7	0.89	$3.2 \cdot 10^{-4}$	89	1	$2.6 \cdot 10^{-5}$
Z8-1	1.05	$2 \cdot 10^{-3}$	59	3	$1.7 \cdot 10^{-4}$
Z8-TS5 aria	-	$2 \cdot 10^{-3}$	46	11	$0.8-0.84 \cdot 10^{-4}$
Z8-TS8-aria	-	$2 \cdot 10^{-3}$	57	-	$0.7-4.4 \cdot 10^{-4}$

DISCUSSIONE

L'effetto dell'ambiente, evidenziato dai più bassi valori di J all'innesco e dall'esame delle superfici di frattura, è significativo solo a basse velocità di trazione. Dall'esame delle curve J-da mostrate nelle figure 2-4 si denota che la differenza tra aria e ambiente cresce al diminuire della velocità di trazione. E' importante una verifica della significatività dei risultati ottenuti, tenendo conto delle differenze di comportamento dovute di una componente della velocità di crescita che dipende dal tempo (e richiede tempi relativamente lunghi per agire).

I valori della velocità di crescita della cricca, infatti (Tabella 1) sembrano dipendere soprattutto dalla velocità di trazione. A questo proposito, si può applicare il modello di sovrapposizione, proposto da Vosikovsky nel caso di prove di fatica in ambiente, (Vosikovsky, 1975) per eliminare la componente puramente meccanica. In Figura 6 la velocità di propagazione per ogni campione è stata graficata in funzione della velocità di spostamento della traversa. Le prove in aria (simboli quadrati) si situano su una retta che

corrisponde alla mancanza dell'effetto ambientale. Le prove in ambiente (simboli romboidali), si scostano da questa retta sempre di più man mano che la velocità di spostamento della traversa decresce.

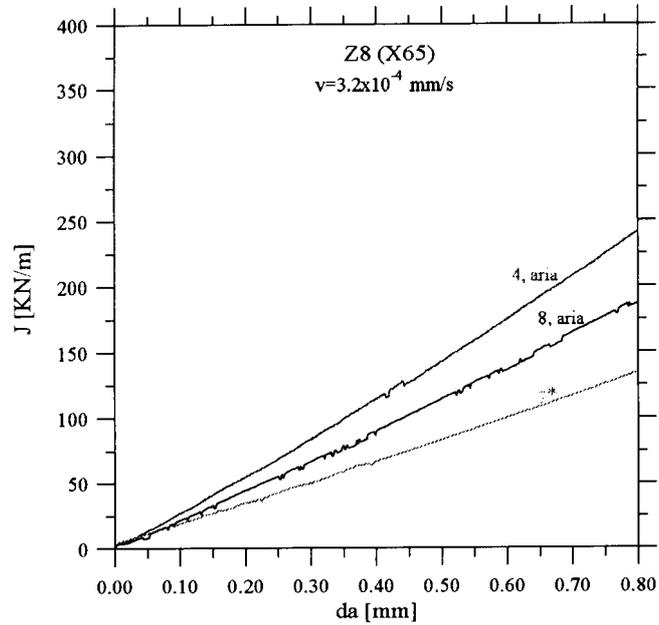


Figura 2: esempio di curve J a velocità di trazione elevata

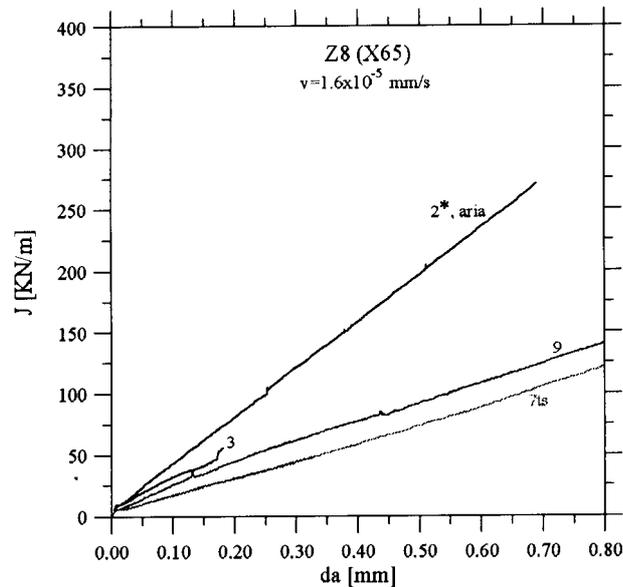


Figura 3: esempio di curve J a bassa velocità di trazione

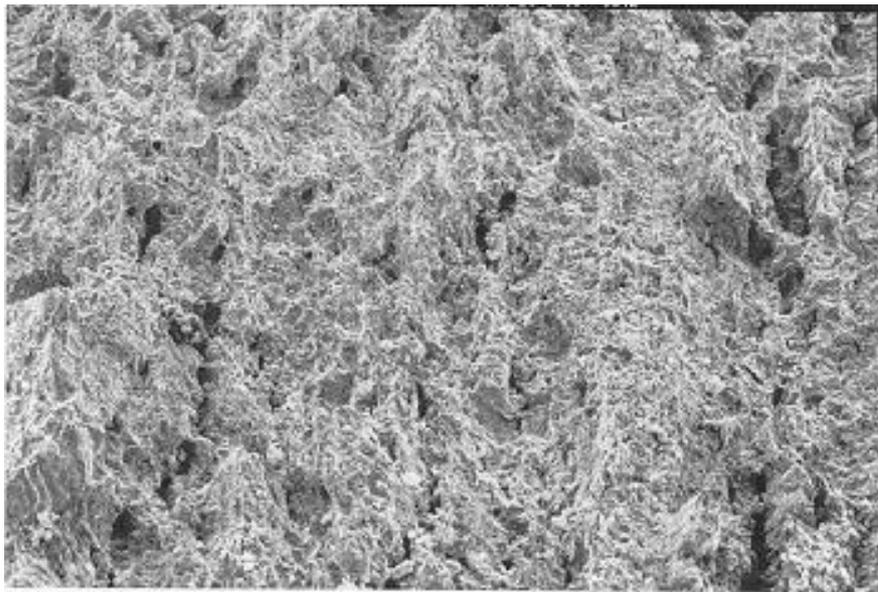


Figura 4a

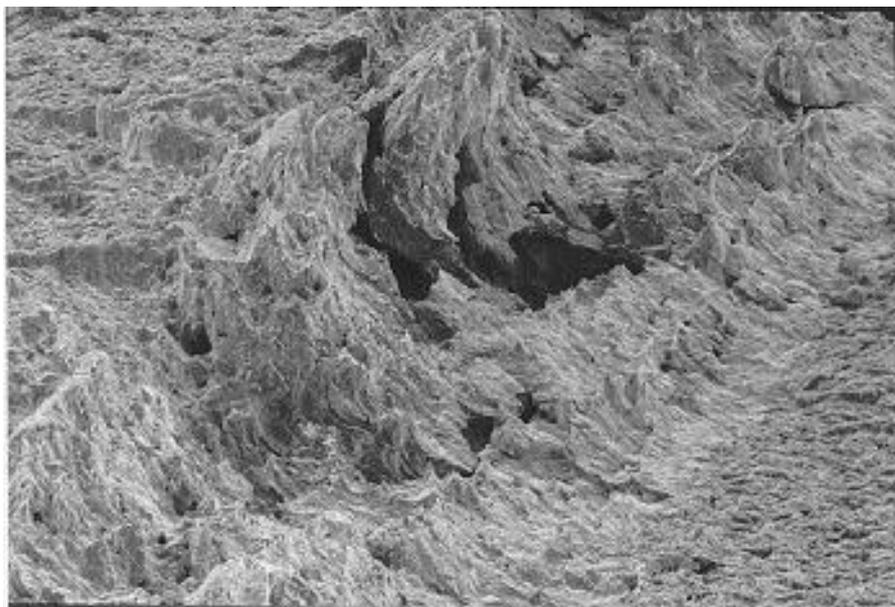


Figura 4b

Figura 4: Confronto di frattografia a) in ambiente, campione TS-1 ingrandito 80 volte; b) in aria, campione TS-3 ingrandito 100 volte.

La velocità di crescita per puro effetto ambientale può essere stimata semplicemente sottraendo al valore misurato la velocità in aria corrispondente. I valori ottenuti sono riportati in Figura 7.

In Figura 8 sono riportati (con la stessa rappresentazione di Figura 6) i valori della velocità di crescita in aria e in ambiente ottenuti su campioni C(T) di acciaio da vessel provati a fatica (P.L.Andresen and L.M.Young, 1995). La forma delle curve è simile, e l'applicazione del modello di sovrapposizione è possibile in modo analogo.

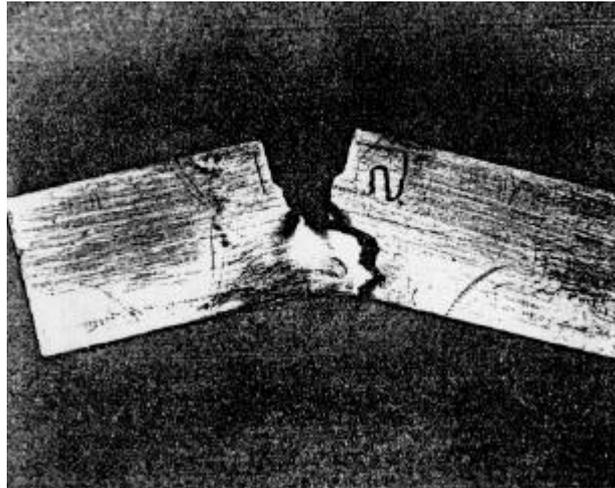


Fig. 5 : Esempio di propagazione su piani perpendicolari a quello di frattura

Il confronto tra Figura 6 e Figura 8 non è però possibile a livello quantitativo, per la diversa geometria dei campioni utilizzati, che provoca una diversa posizione (e diversa pendenza) nel grafico della curva in aria. Inoltre, nei provini SENB la propagazione significativa è molto più breve che nei C(T) e, nel caso del materiale esaminato, la presenza di irregolarità "microstrutturali" ha spesso favorito la propagazione su piani diversi da quello geometricamente favorito. Il valore della velocità media di avanzamento dovuta al solo effetto ambientale è dell'ordine di 10^{-6} mm/s, a basse velocità di trazione. In campo, sia i valori di J applicati (inferiori ai 50 kN/m), che soprattutto le velocità di avanzamento della cricca stimate (circa 10^{-8} mm/s) sono più bassi di quelli ottenuti in laboratorio. E' probabile che per riprodurre in modo significativo il fenomeno, sia necessario fare prove a velocità di trazione più bassa.

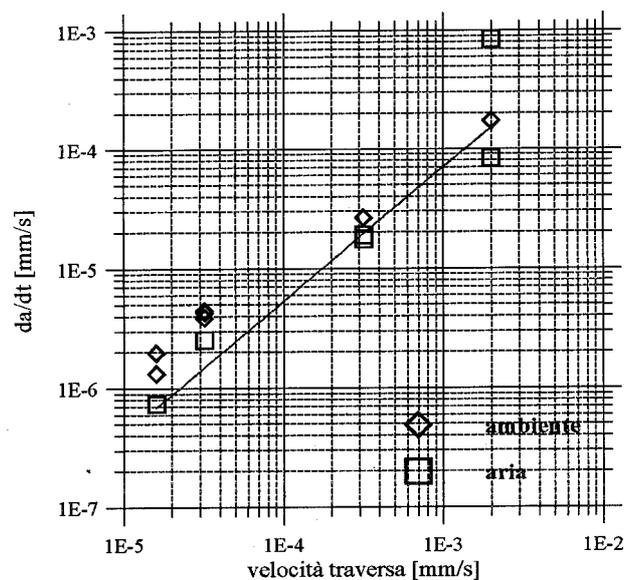


Fig. 6 : Effetto della velocità di spostamento della traversa

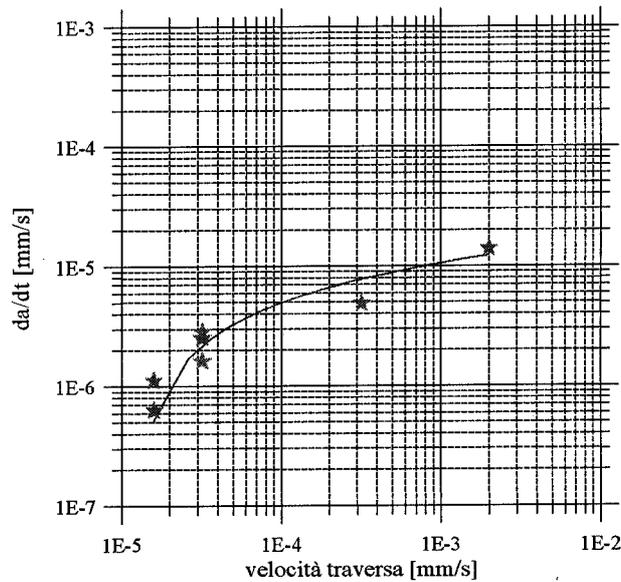


Figura 7 : Componente della velocità di crescita dovuta al solo effetto ambientale

Questo finora non è stato possibile perchè provocherebbe un notevole allungamento dei tempi di prova. Resta comunque evidente che anche a velocità più elevate l'effetto ambientale è significativo. Sarebbe perciò auspicabile anche un ulteriore approfondimento dei metodi di elaborazione dei dati, con lo scopo di ottenere maggiori informazioni anche da prove a velocità significativa dal punto di vista dei tempi.

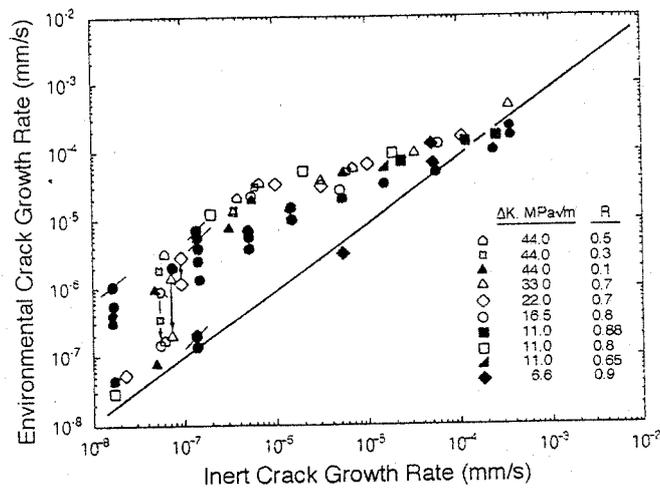


Figura 8 : Esempio di dati di letteratura

CONCLUSIONI

Le prove svolte su acciaio da condotta hanno dimostrato che i metodi di prova della meccanica della frattura possono essere utilizzati per la caratterizzazione del comportamento dei materiali in ambiente corrosivo, soprattutto quando i fenomeni di danneggiamento sono associati alla crescita di cricche. Il fenomeno SCC nel caso studiato si evidenzia maggiormente a basse velocità di trazione. Questo provoca un allungamento anche notevole del tempo di prova.

BIBLIOGRAFIA

"Characterization of Susceptibility of Metallic Materials to Environmentally Assisted Cracking", BCR Contract n' AUTI CT 930038.

Andresen, P.L. and Young, L.M., 1995, "Crack Tip Microsampling and Growth Rate Measurements in Low-Alloy Steel in High-Temperature Water", Corrosion Vol. 51, No. 3 p. 223.

Dietzel, W., 1994, "Information about the ESIS Technical Committee 10 - Environmentally Assisted Cracking", rapporto GKSS.

Dietzel, W., 1995, "Guidelines for Fracture Mechanics SCC Testing", rapporto GKSS March.

ESIS P I -92 "Raccomandazioni dell'ESIS per la determinazione della resistenza a frattura dei materiali duttili", Traduzione a cura di E.Lucon, Notiziario IGF, N'9, maggio 1993

Gabetta, G., 1995, "Relazione sulle attività del gruppo di lavoro ESIS WPIO (Environmentally Assisted Cracking)", IGFII, II' convegno nazionale del Gruppo Italiano di Frattura, Brescia, 4-6 Luglio.

Parkins, R.N., and Delanty, B.S., "The initiation and early stages of growth of stress corrosion cracks in pipeline steel exposed to a dilute, near-neutral pH solution".

Rice, J.R., Paris, P.C., Merkle, J.G., 1973, "Some further results on J-Integral Analysis and Estimates" ASTM STM 536, 231-244.

Vosikovsky, O., 1975, "Fatigue-Crack Growth in an X-65 Line-Pipe Steel at Low Cyclic Frequencies in Aqueous Environments", Transactions of the ASME, Oct..