

**TENACITA' A FRATTURA (J_{IC}) E MICROSTRUTTURA DELLE LEGHE
PROPOSTA DI NORMATIVA ED APPLICAZIONI**

D. Firrao, R. Doglione
Dipartimento di Scienza dei materiali ed Ingegneria Chimica,
Politecnico di Torino

In anni recenti, molte delle energie dei ricercatori operanti nel campo della Meccanica della Frattura sono state spese per definire la migliore procedura sperimentale per la determinazione della tenacità a frattura in campo elasto-plastico, J_{IC} . E' stata così pubblicata la nuova versione della norma ASTM E813, aggiornata al 1988, ed ha anche finalmente visto la luce la nuova norma europea al riguardo, la procedura ESIS P1-92. Entrambe le citate normative sono focalizzate sulla determinazione dell'evento critico della frattura duttile, in corrispondenza del quale definire il J_{IC} , la stima ingegneristica della tenacità a frattura in corrispondenza all'inizio della propagazione lenta e stabile della cricca in materiali metallici.

La norma ASTM identifica il J_{IC} come intersezione della curva J-R, valutata sperimentalmente, e la linea di arrotondamento all'apice della cricca (blunting line), avente pendenza pari alla media fra la tensione di snervamento e quella di rottura del materiale, e spostata artificialmente di 0.2 mm parallelamente all'asse di propagazione della cricca. In tal modo, si perde ogni possibilità di correlazione fra il J_{IC} ed un reale evento critico, cosa che seppur approssimativamente, era ancora possibile con la precedente versione della normativa, la ASTM E813-81. In effetti, la revisione di tale norma era giustificata dal fatto che la determinazione della pendenza della linea di arrotondamento all'apice della cricca era troppo approssimativa per tener conto dei complessi fenomeni che si verificano in quella fase del processo di frattura; d'altra parte, la stessa curva J-R veniva riconosciuta meglio rappresentabile con una curva di potenza che con una retta. Vista quindi l'impossibilità di definire senza ambiguità la linea di arrotondamento, vista la crescente incertezza nell'identificarne l'intersezione con una curva J-R in forma di potenza, che nella zona critica risente troppo di perturbazioni numeriche indotte dalla distribuzione di punti lontani come propagazione di cricca, si rendeva necessario uno spostamento di 0.2 mm della suddetta linea al fine di rendere ingegneristicamente accettabili le stime di J_{IC} . Ciò comporta comunque talvolta una sottostima della tenacità del materiale, talvolta una sua sopravvalutazione.

Molti dei difetti imputabili alla norma ASTM si ritrovano anche in quella dell'ESIS. Qui il fenomeno dello smussamento all'apice della cricca di fatica è modellizzato in maniera molto più coerente con la realtà, ma ancora una volta si è poi scelta l'approssimazione ingegneristica di spostare la linea di arrotondamento di 0.2 mm parallelamente all'asse di propagazione della cricca. Viene così individuato il parametro $J_{0.2 BL}$, analogo al J_{IC} dell'ASTM. L'ESIS prevede anche l'alternativa, quasi equivalente al $J_{0.2 BL}$ del $J_{0.2}$, determinato intersecando

la curva J-R con una retta parallela all'asse del J e distante ad esso 0.2 mm. In entrambi i casi, il senso fisico dell'evento critico è perso. Più interessante è la proposta ESIS di valutare il J_1 , o vero valore di J all'inizio della propagazione della frattura quasistatica, in cui il valore di propagazione fittizio corrispondente allo smussamento veniva valutato tramite SEM come ampiezza della zona a stiramento limite. Tale procedura, che richiede comunque un esame piuttosto dettagliato delle superfici di frattura, e necessita quindi di apparecchiature sofisticate, è notevolmente soggetto all'influenza degli errori sperimentali, e quindi, in definitiva, è poco affidabile.

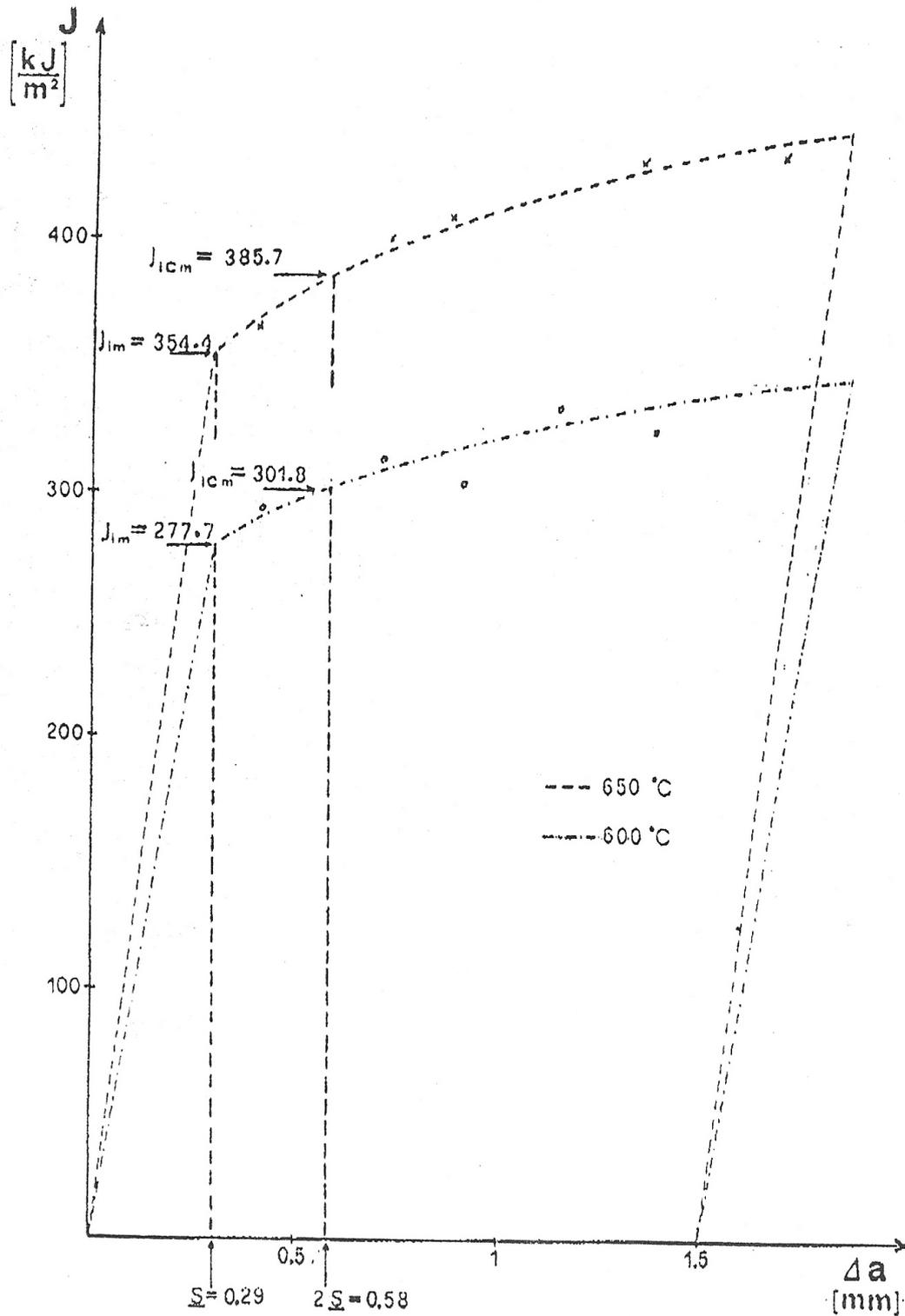
In definitiva, per generare procedure di determinazione della tenacità a frattura più semplici, affidabili e correlate con eventi critici reali, è indispensabile prendere in considerazione l'aspetto microstrutturale del fenomeno di frattura duttile. Sono stati quindi presi in considerazione due classi di acciai, e cioè ferritico-perlitici al C-Mn, e bonificati al Ni-Cr-Mo. In questi materiali il processo di arrotondamento all'apice della cricca di fatica è governato dalla popolazione delle inclusioni non-metalliche, che fanno sì che l'avanzamento fittizio della cricca durante lo smussamento sia dell'ordine dell'interspazio fra le inclusioni di maggiori dimensioni. Basandosi quindi su tale evidenza sperimentale, è possibile formulare una procedura di determinazione della tenacità a frattura aderente alla realtà fisica.

La procedura di determinazione microstrutturale del J_{ICM} necessita quindi di una caratterizzazione, tramite metodi di metallografia quantitativa, della distribuzione delle inclusioni, e del calcolo dell'interspazio medio fra le inclusioni di maggiori dimensioni s. Tale valore viene considerato pari alla propagazione fittizia della cricca durante il fenomeno dell'arrotondamento, e con esso si determina, entrando sulla curva J-R determinata sperimentalmente secondo una delle due normative citate. S'individua così il valore J_{IM} , che corrisponde all'evento d'inizio della propagazione quasistatica della cricca. Tale procedura, basandosi sui metodi della metallografia quantitativa, è più semplice, rapida, automatizzabile ed affidabile della misurazione mediante SEM della zona a stiramento limite, come suggerito dall'ESIS.

Il valore di tenacità di inizio J_1 può comunque essere ritenuto troppo conservativo da un punto di vista ingegneristico. Perciò, per ottenere una stima della tenacità più accettabile in quel senso, si determina il valor critico J_{ICM} , entrando sulla curva J-R con una propagazione di cricca pari a due volte s. Il fondamento fisico di tale procedura consiste nel fatto che, modellando la distribuzione delle inclusioni come se queste fossero disposte a file, la propagazione quasistatica a partire dall'apice smussato corrisponde al collasso dei legamenti resistenti fra l'attuale apice della cricca, distante s da quello iniziale, e la prossima fila di inclusioni, ancora distanti una quantità pari ad s.

Bibliografia

- (1) ASTM STANDARD E 813 - 88, "Annual Book of ASTM Standards", Vol. 03.01, Philadelphia, USA, 1988.
- (2) K.-H. Schwalbe, B. K. Neale, and T. Ingham, "Draft EGF Recommendations for determining the fracture resistance of ductile materials: EGF Procedure EGF P 1-87D", comunicazione privata.
- (3) K.-H. Schwalbe, B. K. Neale, and T. Ingham, "ECF6-Fracture Control of Engineering Structures", ed. H.C. Van Elst e A. Bakker, EMAS, Cradley Heath, UK, 1986, pp. 277-300.
- (4) ASTM STANDARD E 813 - 81, "Annual Book of ASTM Standards", Vol. 03.01, Philadelphia, USA, pp 763-781.
- (5) D. Firrao and R. Roberti, Metall. Sc. and Technol., Vol.1, 5-13, (1983).
- (6) R. Roberti and D. Firrao, Atti III Conv. Naz. IGF, Torino 22-23 maggio 1986, ed. D. FIRRAO, Dip. Sc. Mat. Ing. Ch., Politecnico di Torino, Italy, pp. 5-14.
- (7) R. Roberti and D. Firrao, "ECF6-Fracture Control of Engineering Structures", ed. H.C. Van Elst e A. Bakker, EMAS, Cradley Heath, U.K., 1986, vol. 3, pp. 2185-2194.
- (8) R. Roberti, G. M. La Vecchia, and D. Firrao, Proc. XXII Int. Congr. of Metallurgy "Innovation for Quality", part III, Bologna May 17-19, 1988, Associazione Italiana di Metallurgia, Milano 1988, pp. 93-105.
- (9) D. Firrao and R. Roberti, Proc. 6th International Conference on Fracture (ICF6) on "Advances in Fracture Research", Edit. S.R. Valluri et al., Pergamon Press, Oxford, U.K., 1984.
- (10) D. Firrao and R. Roberti, "Fracture: Interactions of Microstructures, Mechanisms and Mechanics", ed. J. Wells and J. Landes, TMS-AIME, Warrendale, PA, 1984, pagg. 165-177.
- (11) D. Firrao, R. Roberti, G.M. La Vecchia, and R. Doglione, Atti IV Conv. Naz. IGF, ed. D. Firrao, Milano, Italy, 26-27 maggio 1988, pagg. 10/1-10/17.



Schema grafico di utilizzazione dell'interspazio fra le inclusioni non metalliche s , per il calcolo di J_{Im} e J_{Icm} per l'acciaio UNI 39 NiCrMo 3, temprato e rinvenuto rispettivamente a 600 e 650°C.