



IX Convegno Nazionale
Gruppo Italiano Frattura
Roma, 2-4 giugno 1993

METODOLOGIE PER LA VALUTAZIONE DELLA RESISTENZA A FRATTURA PER IMPATTO. APPLICAZIONE A SISTEMI TENACIZZATI A MATRICE DI POLIPROPILENE

F. Martinatti e T. Riccò

Dipartimento di Ingegneria dei Materiali
Università di Trento
Via Mesiano, 77 - 38050 - Trento

SOMMARIO

Nel presente lavoro sono state applicate due diverse metodologie, e precisamente quelle dell'integrale J e del lavoro essenziale di frattura, per la valutazione della resistenza a frattura di materiali polimerici ad alte velocità di sollecitazione. I due approcci sono stati applicati a sistemi tenacizzati a matrice di polipropilene. Per i diversi materiali considerati, i risultati ottenuti di J_{Ic} e del lavoro essenziale di frattura in stato di deformazione piana, w_{Ie} , sono confrontati e discussi.

INTRODUZIONE

Negli ultimi anni l'approccio dell'integrale J è stato applicato da molti studiosi per caratterizzare la tenacità, in stato di deformazione piana, di polimeri duttili sollecitati a basse velocità di deformazione. In tali studi sono state solitamente impiegate procedure standard proposte e sviluppate per i materiali metallici, poiché una procedura ufficiale per i materiali polimerici non è ancora stata messa a punto.

Nel presente lavoro sono stati adottati due metodi, quello dell'integrale J e quello del lavoro essenziale di frattura⁽¹⁾, per la valutazione della resistenza a

frattura ad alte velocità (impatto) di sistemi tenacizzati a matrice di polipropilene.

Le prove per la determinazione di J_{Ic} , attraverso la costruzione della curva di resistenza J_R , sono state eseguite secondo la tecnica multicampione, seguendo diverse procedure quali la norma ASTM E813-89⁽²⁾ e il protocollo ESIS P1-92⁽³⁾.

Il lavoro essenziale di frattura, che è stato inizialmente proposto per la caratterizzazione della tenacità di materiali metallici⁽⁴⁾ e successivamente di materiali polimerici^(1,5) in condizioni di sforzo piano e per comportamenti altamente duttili, è stato determinato nel presente lavoro in relazione allo stato di deformazione piana attraverso un'opportuna estrapolazione.

Così come proposto originariamente, il punto di partenza del metodo del lavoro essenziale di frattura consiste nel dividere l'energia totale di frattura in due parti: il lavoro essenziale, W_e , e il lavoro non essenziale W_p :

$$W_f = W_e + W_p \quad (1)$$

Il primo termine risulta essere direttamente proporzionale alla lunghezza l della sezione resistente del provino, mentre il secondo risulta proporzionale ad l^2 . Chiamato B lo spessore del campione risulta:

$$w_f l B = w_e l B + \beta w_p l^2 B \quad (2)$$

essendo w_f , w_e e w_p rispettivamente il lavoro specifico totale, essenziale e non essenziale di frattura; β è un fattore di forma che dipende dalla geometria della zona deformata plasticamente. Dall'equazione (2) segue che:

$$w_f = w_e + \beta w_p l \quad (3)$$

Tale equazione rappresenta una relazione lineare tra w_f ed l , in cui w_e è dato dall'ordinata all'origine come indicato in Fig. 1.

Si può dimostrare che per $l < 3B$ si verifica una transizione dallo stato di sforzo piano allo stato di deformazione piana. In tale regione l'equazione (3) perde, generalmente, la sua validità. Al tendere di l a zero, w_f decresce tendendo al valore w_{Ie} . Se lo spessore del provino B verifica la condizione:

$$B > 25 w_{Ie} / \sigma_y$$

allora w_{Ie} rappresenta il lavoro specifico essenziale di frattura in condizioni di deformazione piana, e coincide col valore J_{Ic} ^(5,7).

E' opportuno sottolineare che il metodo del lavoro essenziale di frattura si basa comunque sull'ipotesi che la sezione resistente dei provini sia completamente snervata.

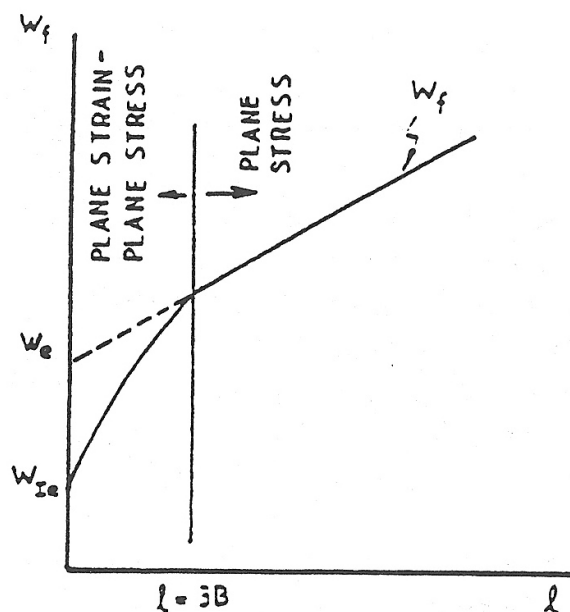


Fig. 1. Rappresentazione schematica del lavoro specifico di frattura in funzione della lunghezza della sezione resistente del provino⁽¹⁾.

Dal punto di vista della pratica sperimentale risulta evidente come la determinazione di w_{Ie} , soprattutto in prove ad alta velocità, sia di gran lunga più agevole e più semplice della determinazione di J_{Ic} . Infatti la procedura sperimentale per la determinazione di w_{Ie} pur implicando l'uso di una tecnica multicampione, con l'impiego di una serie di provini a diversa lunghezza della cricca iniziale, non comporta nè la necessità d'interrompere le singole prove nè quella di misurare avanzamenti della cricca.

PROCEDURA SPERIMENTALE

Le prove d'impatto sono state eseguite con un pendolo strumentato della Ceast S.p.A. (Torino) nella configurazione di flessione in tre punti, a temperatura ambiente e a velocità d'impatto pari a circa 1,8 m/s. Sono stati utilizzati campioni con intaglio laterale acuto SE(B), aventi distanza tra gli appoggi di 50 mm, larghezza 12,7 mm e spessore 3,5 mm. L'intaglio è stato effettuato mediante una lama avente raggio di curvatura di 15 μ m.

Le prove per la determinazione della curva di resistenza J_R e del valore critico J_{Ic} sono state eseguite attenendosi alla tecnica multicampione^(2,3). A tale scopo l'apparecchiatura di prova è stata convenientemente implementata con un componente atto a fermare le prove a diversi livelli di spostamento⁽⁶⁾.

Durante le prove sono state registrate le curve della forza e dell'energia in funzione del tempo che hanno permesso di determinare i valori di J corrispondenti a diverse deflessioni dei provini. Le misure d'avanzamento della

cricca, Δa , sono state effettuate, mediante un microscopio ottico, sulle superfici dei provini dopo averli fratturati completamente a temperature criogeniche.

Per la valutazione del lavoro specifico essenziale di frattura, le misure dell'energia totale di frattura sono state eseguite utilizzando campioni aventi una lunghezza iniziale dell'intaglio compresa fra 10 e 80% della larghezza del provino. Durante le prove sono stati registrati i valori dell'energia assorbita nel corso dell'intero processo di frattura. I valori dell'energia totale di frattura, normalizzati rispetto alle relative sezioni resistenti, sono stati diagrammati in funzione di l . I dati sperimentali situati nella regione di transizione fra frattura in stato di sforzo piano e frattura in stato di deformazione piana sono stati interpolati mediante la curva più appropriata, la cui ordinata all'origine rappresenta il parametro w_{Ic} .

Per entrambe le metodologie adottate, l'analisi dei dati sperimentali è stata eseguita trascurando l'influenza dei fenomeni inerziali.

I materiali studiati, gentilmente forniti dalla società Himont Italia S.p.A. (Ferrara), erano costituiti da: a) sistemi binari a matrice di polipropilene (PP) additivata con diverse percentuali volumetriche di gomma etilene-propilene; b) sistemi ternari a base di polipropilene additivato sia con gomma etilene-propilene sia con talco, in diverse frazioni volumetriche.

RISULTATI E DISCUSSIONE

Le curve di resistenza J_R determinate secondo la procedura ASTM E813-89⁽²⁾ relative a due dei materiali studiati, sono riportate in Fig. 2. Nella stessa figura sono anche messe in evidenza le rispettive rette parallele alle "blunting lines" a 0,2 mm di "offset" e le rette di esclusione ("exclusion lines"). I risultati di resistenza a frattura J_{Ic} , ottenuti secondo le due diverse procedure considerate^(2,3), sono riportati in Tab. 1 per ciascun materiale esaminato.

Per alcuni dei materiali riportati in Tab. 1 l'applicazione del metodo del lavoro essenziale di frattura si è presentato, invece, piuttosto problematico. Ciò si è verificato per quei materiali i cui provini presentavano sezione resistente non completamente snervata al variare della sua lunghezza. Tale comportamento dava luogo tipicamente a una non diminuzione del lavoro specifico di frattura w_f al decrescere di l , rendendo così non applicabile il metodo stesso. In particolare ciò si è verificato per i sistemi PP+16%gomma e PP+17%gomma+4%talco.

Per tutti gli altri materiali considerati, invece, l'esame delle superfici di frattura ha indicato che i processi di snervamento interessavano tutta la sezione resistente, per qualunque profondità d'intaglio iniziale. Per tali materiali si è potuto, quindi, procedere alla determinazione di w_{Ic} .

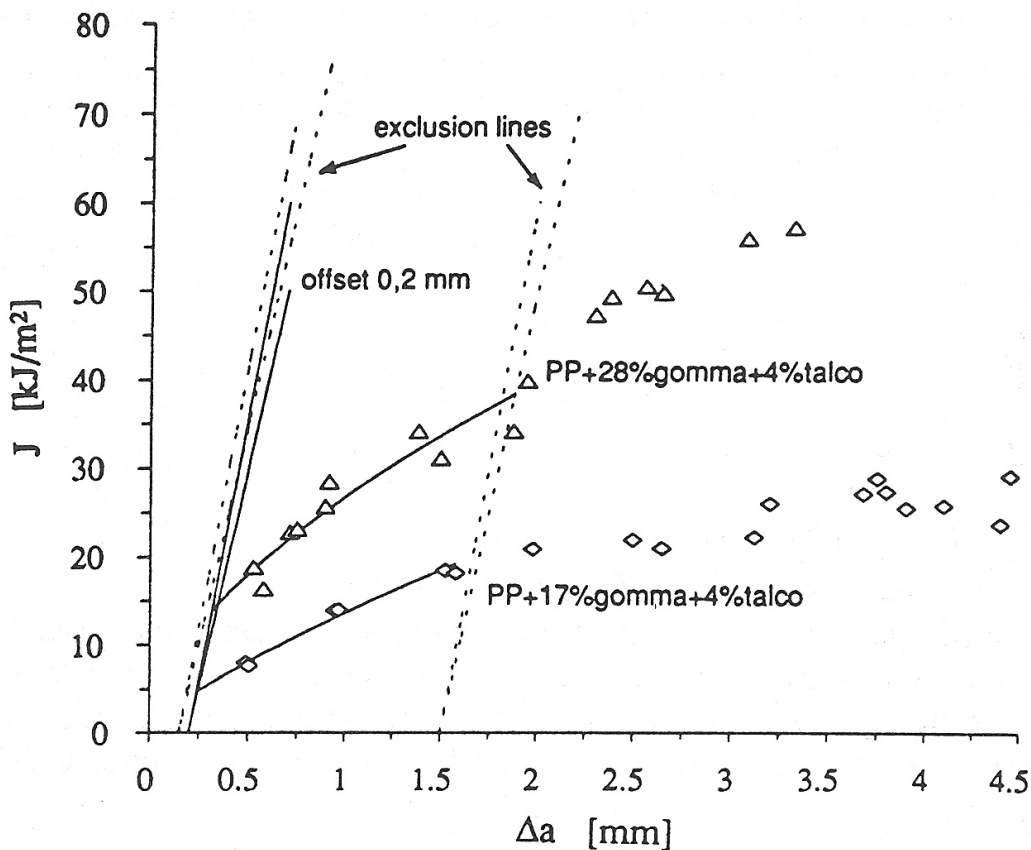


Fig. 2. Curve di resistenza J_R ottenute secondo la norma ASTM E813-89⁽²⁾ per due materiali tra quelli esaminati.

In Fig. 3 sono riportati i valori di w_f in funzione di l per il materiale costituito da $\text{PP}+26\%\text{gomma}$. Nella zona di transizione ($l < 3B$), appare che i risultati possono essere interpolati linearmente dando un valore di $w_{Ic} = 5,7 \text{ kJ/m}^2$. Un'interpolazione secondo una legge di potenza dà invece un valore di $w_{Ic} = 5,5 \text{ kJ/m}^2$. In Tab. 2 vengono riportati i valori di w_{Ic} e di J_{Ic} , ottenuti secondo la norma ESIS P1-92, per alcuni materiali esaminati. Il confronto dei risultati mette in evidenza il buon accordo tra questi valori, soprattutto nel caso di $J_{Ic} = J_{0,2/BL}$.

I risultati ottenuti in questa fase della ricerca indicano come l'approccio del lavoro essenziale di frattura sia decisamente promettente nei porsì come metodo alternativo, in quanto sperimentalmente più semplice ed agevole, al metodo dell'integrale J per la determinazione della tenacità di polimeri dal comportamento duttile in condizioni di alte velocità di sollecitazione.

Sotto tale aspetto, i risultati ottenuti sono incoraggianti per un'estensione della sperimentazione ad altri materiali.

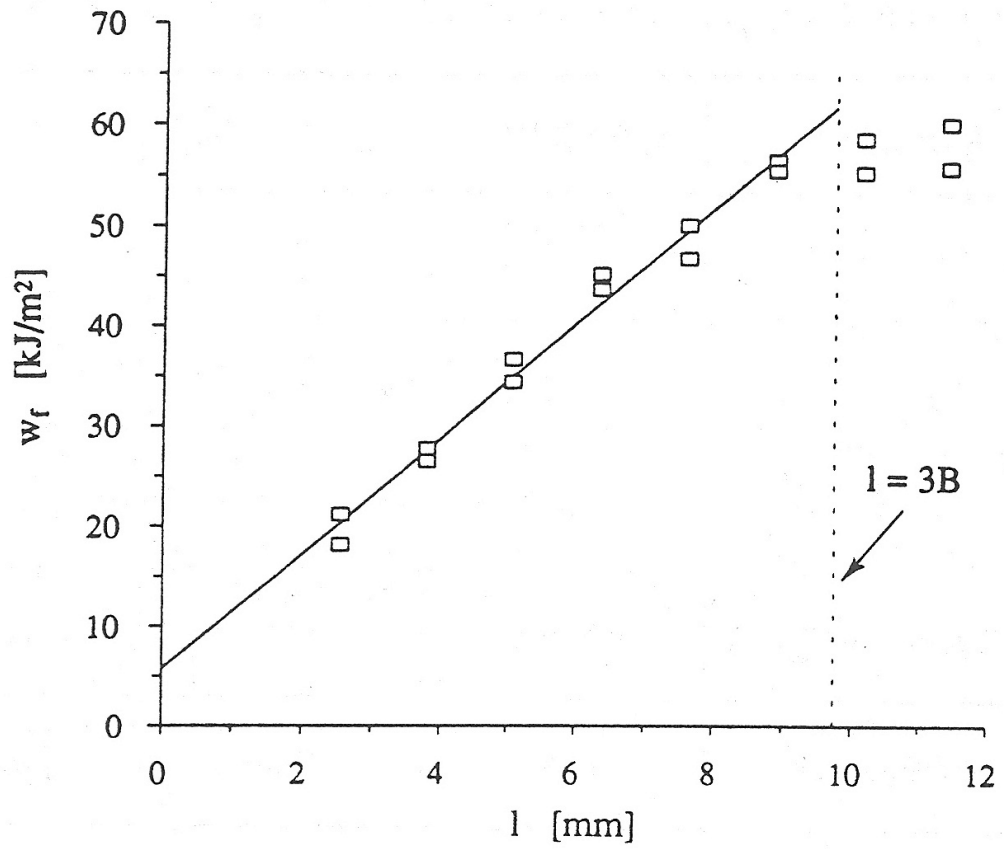


Fig. 3. Lavoro specifico totale di frattura in funzione della lunghezza della sezione resistente del provino, per il sistema binario PP+26% gomma.

Tab. 1. Valori di J_{Ic} secondo le norme ASTM E813-89⁽²⁾ e ESIS P1-92⁽³⁾.

MATERIALE	$J_{Ic}^{(2)}$ [kJ/m ²]	$J_{0.2/BL}^{(3)}$ [kJ/m ²]	$J_{0.2}^{(3)}$ [kJ/m ²]
PP+16%gomma	3,7	3,6	3,3
PP+17%gomma+4%talco	4,7	4,0	3,4
PP+26%gomma	6,6	6,4	4,7
PP+28%gomma+4%talco	14,6*	14,9*	11,1*
PP+36%gomma	20,8*	19,6*	9,8*

Tab. 2. Confronto fra i valori di w_{Ic} e J_{Ic} per alcuni materiali esaminati.

MATERIALE	w_{Ic} [kJ/m ²]	$J_{0.2/BL}^{(3)}$ [kJ/m ²]
PP+26%gomma	5,7 (a)	6,4
	5,5 (b)	
PP+28%gomma+4%talco	18,3*	14,9*
PP+36%gomma	20,3*	19,6*

(a) interpolazione lineare

(b) interpolazione con legge di potenza

* Requisiti dimensionali non verificati.

RINGRAZIAMENTI

Questo lavoro è stato parzialmente finanziato dal "Progetto Finalizzato Chimica Fine II", CNR (Roma). Gli autori desiderano, inoltre, esprimere i loro ringraziamenti alla società Himont Italia S.p.A. (Ferrara) per aver fornito i materiali.

BIBLIOGRAFIA

1. Y. - W. Mai and B. Cotterell, *Int. J. Fract.* **32**, 105 (1986).
2. ASTM E813-89: Standard Test Method for J_{Ic} , a measure of fracture toughness (1989).
3. ESIS P1-92: ESIS Recommendations for determining the fracture resistance of ductile materials (1992).
4. B. Cotterell and J. K. Reddell, *Int. J. Fract.* **13**, 267 (1977).
5. Y. - W. Mai, B. Cotterell, R. Horlyck and G. Vigna, *Polym. Eng. Sci.* **27**, 804 (1987).
6. F. Martinatti and T. Riccò, *J. Mater. Sci.* in fase di pubblicazione.
7. A. S. Saleemi and J. A. Nairn, *Polym. Eng. Sci.* **30**, 211 (1990).