

IGF11-XI° Convegno Nazionale
Gruppo Italiano Frattura
Brescia, 4-6 luglio 1995

INFRAGILIMENTO ANISOTROPICO INDOTTO DAL PROCESSO DI TERMOFORMATURA IN PRODOTTI A BASE DI POLIPROPILENE

A. Marchi, A. Pegoretti, A. Casagrande, T. Ricco'

Università degli Studi di Trento
Dipartimento di Ingegneria dei Materiali
Via Mesiano 77, 38050 Trento.

Sommario

Lo scopo del presente lavoro è di studiare il comportamento anisotropico delle proprietà di resistenza a frattura di contenitori in polipropilene ottenuti tramite un processo di termoformatura sotto vuoto. A tale fine, un approccio di meccanica della frattura elasto-plastica, basato sul metodo del lavoro essenziale di frattura, è stato applicato a campioni tagliati dai prodotti termoformati sia in direzione longitudinale che trasversale rispetto alla direzione di stiro.

Introduzione

Il comportamento meccanico dei materiali polimerici può essere fortemente influenzato da orientamenti del materiale che si ottengono durante i processi tecnologici di trasformazione. Questo effetto può essere particolarmente marcato per i polimeri semicristallini a causa di variazioni delle orientazioni e/o della microstruttura dei domini cristallini, che possono indurre una pronunciata anisotropia nelle proprietà a frattura. In particolare, tali fenomeni possono essere osservati in prodotti di polipropilene ottenuti tramite il processo di termoformatura, nei quali la

resistenza a frattura, per cricche che si propagano lungo la direzione del processo di stiro, risulta sensibilmente compromessa.

Lo scopo del presente lavoro è di studiare il comportamento anisotropico delle proprietà di resistenza a frattura di contenitori fatti in polipropilene e in polipropilene additivato con gomma, ottenuti tramite un processo di termoformatura sotto vuoto.

In tale studio viene applicato un approccio di meccanica della frattura elasto-plastica basato sulla metodologia del lavoro essenziale di frattura (EWF). Tale metodo si basa sull'assunzione che l'energia totale di frattura, W_f , possa essere divisa in due contributi: il lavoro essenziale e non essenziale di frattura (1,2);

$$W_f = W_e + W_p$$

In condizioni di sforzo piano, il primo termine di questa equazione, che rappresenta l'energia dissipata nella zona di processo della frattura, è proporzionale alla lunghezza della sezione resistente del pezzo considerato, l , mentre il secondo, che è associato all'energia necessaria per deformare plasticamente la zona esterna a quella di processo, è proporzionale a l^2 . Ne segue che:

$$W_f = w_f l B = w_e l B + \beta w_p l^2 B$$

e

$$w_f = w_e + \beta w_p l$$

dove B è lo spessore del provino, β un fattore di forma, e w_f , w_e , w_p sono rispettivamente il lavoro specifico totale essenziale e non essenziale di frattura.

Sperimentazione

I materiali studiati sono stati gentilmente forniti dalla società Himont Italia spa (Ferrara), sotto forma di contenitori ottenuti per termoformatura, aventi due diverse altezze, $h=100$ mm e $h=58$ mm, corrispondenti a due diversi rapporti di stiro. Tali contenitori erano fatti sia in polipropilene che in polipropilene additivato con una seconda fase elastomerica a base di etilene-propilene.

I provini per le prove di EWF erano di tipo SENT ed erano ottenuti tagliando i contenitori sia longitudinalmente che trasversalmente alla direzione di stiro, la quale coincide con l'asse del contenitore. SENT_x e SENT_y indicano rispettivamente provini contenenti cricche che si propagano parallelamente e perpendicolarmente alla direzione di stiro (Fig. 1).

Risultati

I risultati di w_f in funzione della lunghezza della sezione resistente sono riportati nelle Fig. 1 e 2 per i due diversi rapporti di stiro considerati. Le Fig. 1a e 2a mostrano i risultati ottenuti per il caso del polipropilene non modificato, mentre le Fig. 1b e 2b per il polipropilene modificato con gomma. In ciascuna di queste figure sono poi riportati i due diagrammi relativi ai provini SENTx e SENTy.

Per tutti i contenitori esaminati si osserva una forte anisotropia nel comportamento a frattura che si manifesta sistematicamente in una più o meno marcata diminuzione della resistenza per fratture che si propagano trasversalmente alla direzione di stiro. In particolare, questo risultato è evidenziato da valori tipicamente più bassi di w_e e βw_p per i provini SENTy, come mostrato in Tabella I. Tale effetto risulta inoltre più pronunciato per i contenitori a più alto rapporto di stiro (altezza del contenitore $h=100$ mm).

Il confronto dei risultati ottenuti relativamente al polipropilene e al polipropilene modificato con gomma mette in luce che l'aggiunta della gomma al polipropilene non ha alcun effetto tenacizzante per fratture che si propagano parallelamente alla direzione di stiro; in tale direzione la tenacità risulta persino peggiorata (v. Tabella I). L'analisi via TEM dei materiali contenenti la fase elastomerica ha rivelato che le particelle di gomma hanno una forma fortemente allungata nella direzione di stiro, come conseguenza del processo di termoformatura. Ciò fa sì che sotto l'azione di carichi esterni tali particelle, agendo da concentratori di sforzo diversamente nelle due diverse direzioni, giochino sulla tenacità del materiale un ruolo diverso lungo le medesime.

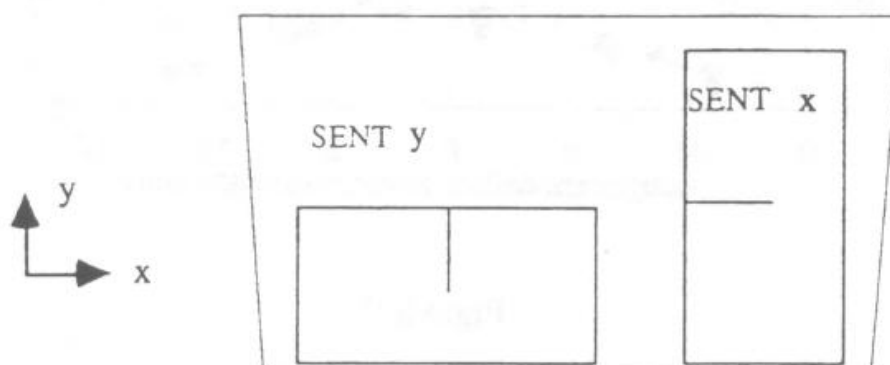


Figura 1

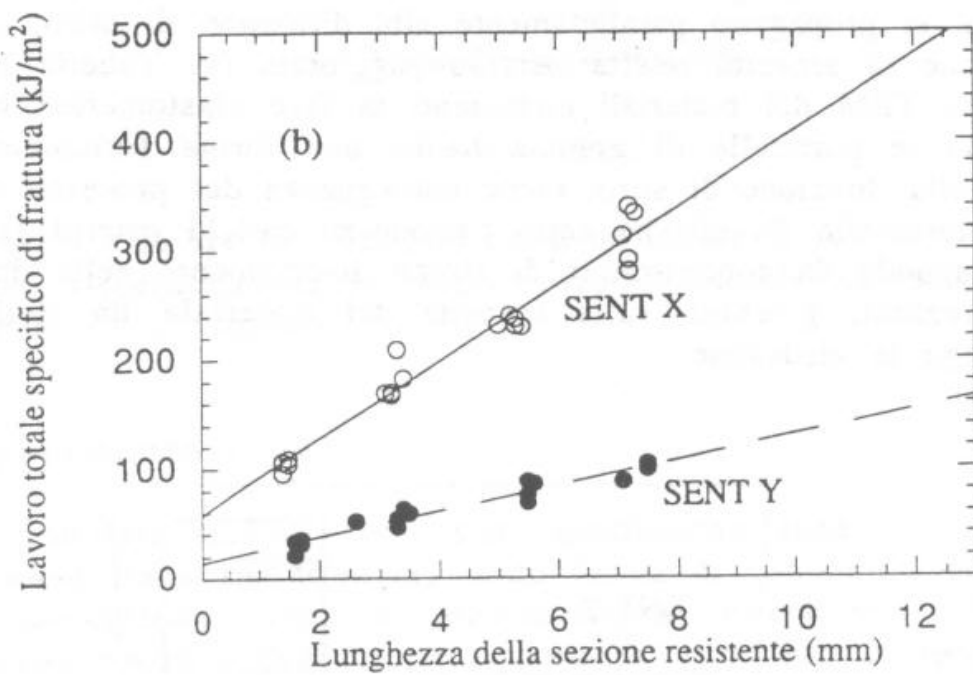
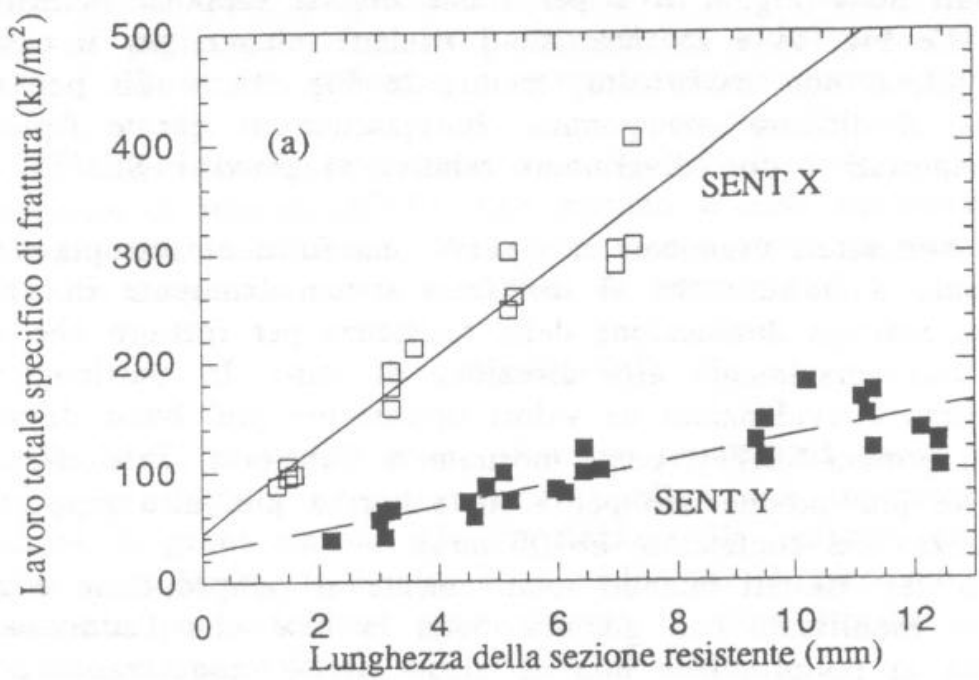


Figura 2

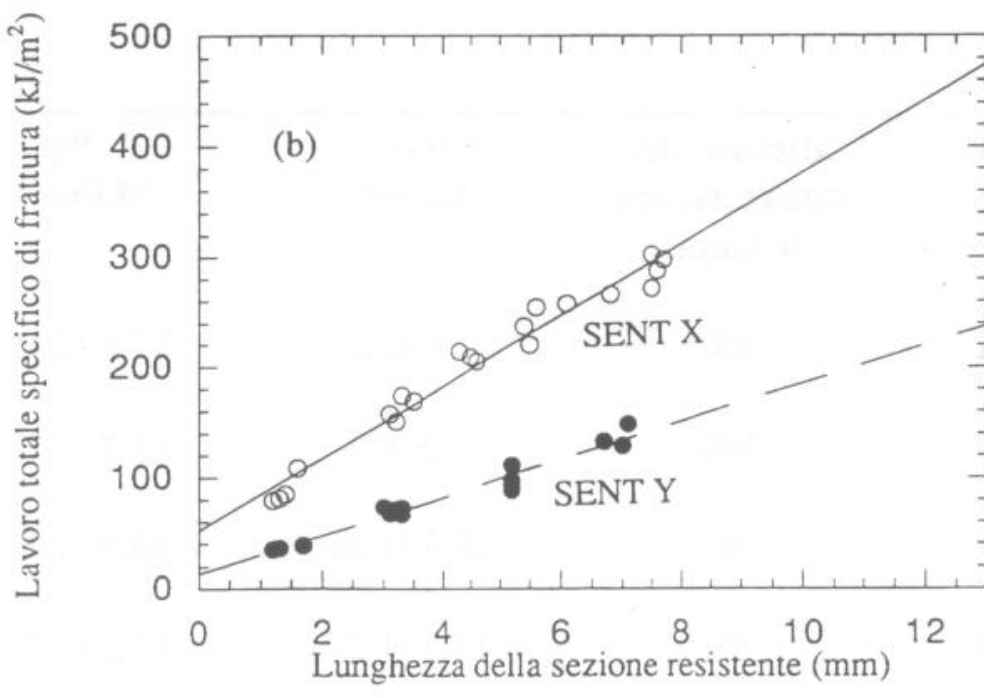
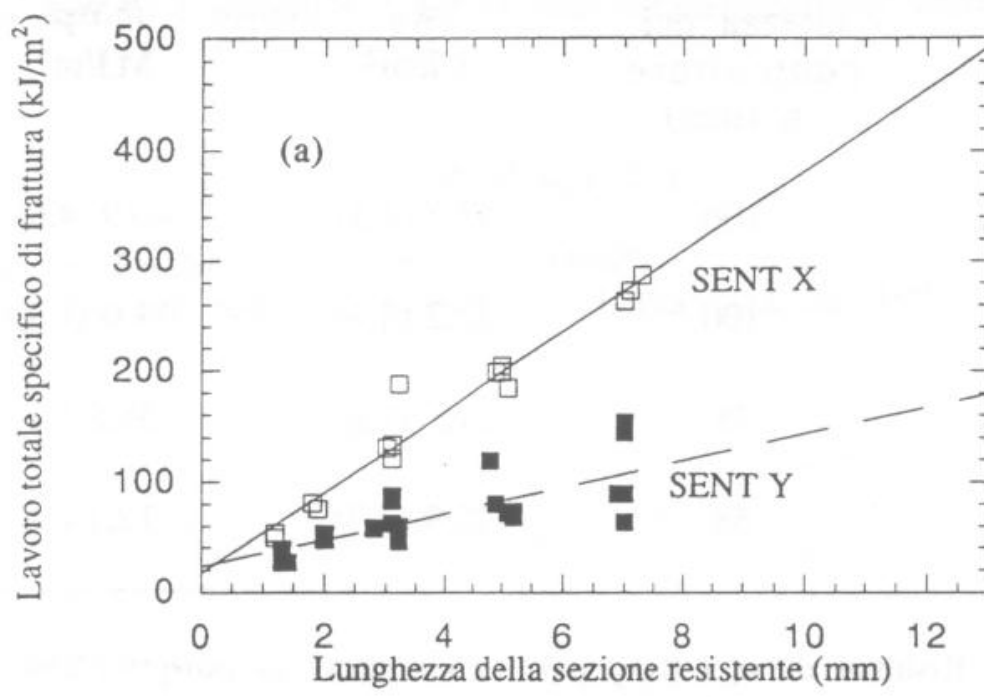


Figura 3

| provino | altezza del contenitore h (mm) | w_e kJ/m ² | βw_p MJ/m ³ |
|---------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| SENT X | 100 | 43,3 (4,1) | 40,9 (4,6) |
| SENT Y | 100 | 27,2 (3,3) | 11,0 (1,8) |
| SENT X | 58 | 17,1 (2,6) | 36,5 (3) |
| SENT Y | 58 | 22,9 (2,7) | 12,1 (3) |

Tabella 1. Risultati di w_e e βw_p per i contenitori in polipropilene.

| provino | altezza del contenitore h (mm) | w_e kJ/m ² | βw_p MJ/m ³ |
|---------|-----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| SENT X | 100 | 57,4 (2,1) | 35,1 (2,1) |
| SENT Y | 100 | 13,8 (1) | 11,7 (1,3) |
| SENT X | 58 | 53,5 (1,8) | 32,5 (1,9) |
| SENT Y | 58 | 13,3 (1,2) | 17,3 (1,3) |

Tabella 2. Risultati di w_e e w_p per i contenitori in polipropilene modificato con gomma.

Ringraziamenti: Questo lavoro è stato svolto con il parziale contributo del Consiglio Nazionale delle Ricerche (Roma). Gli autori desiderano ringraziare la società Himont Italia spa, Ferrara, per aver fornito i materiali e per la loro caratterizzazione microscopica.

Bibliografia

1. K. B. Broberg; Int. J. Fract. 4,11(1968)
2. B. Cotterell and J. K. Reddell; Int. J. Fract. 13, 267(1977)