

Gruppo Italiano Frattura (IGF)

Atti III Convegno Nazionale

Torino, 22-23 maggio 1986

ANALISI TERMICA DEL PROCESSO DI PLASTIFICAZIONE ALL'APICE DELLA CRICCA

M.G.Beghi(*), C.E.Bottani(*), G.Caglioti(*), A.Fazzi

Istituto di Ingegneria Nucleare, CESNEF

Politecnico di Milano, via Ponzio 34/3, I20133 MILANO

e

(* Gruppo Nazionale di Struttura della Materia del CNR

Unita' di Ricerca 7, MILANO

INTRODUZIONE

Obiettivo di questo contributo e' fornire indicazioni sulla possibilita' di ottenere informazioni sui processi che avvengono all'apice di una cricca, mediante misure di temperatura sulla superficie dei provini. Le conoscenze teoriche e sperimentali ottenute con i provini di trazione sono sfruttate per interpretare le misure su provini Compact Tension.

TERMODINAMICA DEI METALLI SOTTOPOSTI A DEFORMAZIONE

Le deformazioni elastiche dei metalli sono accompagnate da variazioni di temperatura, che sono negative quando la variazione relativa di volume e' positiva (effetto termoelastico). La corrispondente "sorgente equivalente di calore" e' proporzionale alla velocita' di variazione di volume, attraverso la costante di Grüneisen [1].

Le deformazioni plastiche sono sempre accompagnate da generazione di calore dovuta a degradazione di lavoro meccanico, mediante ad es. creazione e movimento di dislocazioni. Un metallo che si deforma plasticamente assorbe irreversibilmente potenza meccanica; una frazione di questa potenza e' immediatamente convertita in calore, dando luogo ad una sorgente equivalente di calore positiva (emissione termica) [2]. La frazione di potenza convertita e' funzione della microstruttura, dello sforzo, della velocita' di deformazione e della temperatura [3].

I due effetti sono evidenti nelle prove di trazione. La deformazione elastica e' accompagnata da un raffreddamento continuo, mentre all'inizio dello scorrimento plastico si ha un marcato incremento di temperatura. Il punto di minimo della variazione di temperatura e' utilizzabile al fine di individuare lo sforzo limite termoelastoplastico σ_0 .

PROVE "COMPACT TENSION" MONOTONE

Fenomeni simili sono misurabili, mediante ad esempio termistori puntiformi nell'intorno della cricca, sulla superficie di provini compact tension sottoposti a prova di carico monotona [4]. Operando a velocita' di traversa co-

stante con provini sottili (8 mm) di AISI 316, precriccati a fatica, la formazione della zona plastica non e' individuabile dalla curva carico-tempo, che presenta solo lievi variazioni di pendenza. Essa e' invece evidente dagli andamenti della temperatura: il raffreddamento termoelastico iniziale e' seguito da un riscaldamento nella zona della cricca, e da un contemporaneo ulteriore raffreddamento lontano dalla cricca (Fig.1). Successivamente si ha un riscaldamento generalizzato.

L'interpretazione delle misure su provini compact tension e' piu' complessa rispetto al caso monodimensionale (provino di trazione) a causa della non omogeneita' del campo di deformazioni e degli effetti della diffusione termica in un campo bi- o tri-dimensionale di temperatura. Appare comunque possibile, con un numero adeguato di sensori, seguire la nucleazione e l'evoluzione della zona plastica all'apice della cricca.

PROVE "COMPACT TENSION" CICLICHE

Si presentano i risultati preliminari di misure di temperatura in prossimita' della cricca, alla superficie di un campione precriccato di AISI 316, simile a quello di cui sopra, sottoposto a carico ciclico. Operando in controllo di carico, si e' imposto un carico sinusoidale, di ampiezza analoga a quella utilizzata per la precricatura, con frequenze comprese tra 2 e 10 cicli al minuto. Il regime di carico e' tale da non provocare apprezzabile avanzamento della cricca quando venga applicata una serie di poche centinaia di cicli; le caratteristiche di incrudimento dell'AISI 316 portano nel provino precriccato ad un comportamento ovunque elastico, salvo al piu' nelle immediate vicinanze dell'apice della cricca.

Ad una certa distanza dalla cricca le variazioni di temperatura sono infatti di natura sostanzialmente termoelastica, hanno cioe' un andamento sinusoidale sfasato di circa 180° rispetto alla sinusoide di carico. Le loro ampiezze e fasi riflettono l'andamento dello stato di sforzo (analogamente a quanto osservato nella parte iniziale della prova monotona), e la diffusione termica (Fig.3); quest'ultima e' evidenziata dalla dipendenza delle ampiezze e delle fasi dalla frequenza di eccitazione.

Nelle immediate vicinanze della cricca il segnale di temperatura ha invece un andamento diverso: si ha in particolare una distorsione della forma sinusoidale ed una minore ampiezza, che indicano la presenza di una sorgente termica non lineare e competitiva con quella termoelastica (Fig.3).

Le osservazioni precedenti sono confermate dalla forma puramente ellittica oppure distorta delle caratteristiche carico-temperatura. Gli spettri di potenza dei segnali presentano poi una riga ben definita nel caso del carico applicato (eccitazione), del COD (risposta meccanica) e della temperatura (risposta termica) lontano dalla cricca, mentre

nel caso della temperatura in prossimita' della cricca si registra la presenza di una serie di armoniche superiori, a conferma della non linearita' della risposta.

La non linearita' della risposta termica puo' essere legata a non linearita' di comportamento del materiale (plasticita' localizzata) o a non linearita' geometriche (fenomeni di "crack-closure").

CONCLUSIONI

Nei metalli soggetti a deformazione, le zone ove si registra un raffreddamento sono dilatate elasticamente, mentre le regioni ove si ha emissione termica subiscono uno scorrimento plastico. La procedura sperimentale che sfrutta l'emissione termica permette di seguire la nucleazione ed evoluzione delle zone plastiche e, nel caso di carico ciclico, le zone in cui si verificano non linearita', materiali o geometriche. La prosecuzione del lavoro permettera' una mappatura piu' fitta del campo di temperatura, da confrontarsi con analisi elasto-plastiche dei provini.

BIBLIOGRAFIA

1. L.D.Landau and E.M.Lifshitz, Theory of Elasticity (Pergamon Press, 1960).
2. C.E.Bottani and G.Caglioti, Mechanical Instabilities of Metals, Europhys. News 14, (12) 10 (1983), e riferimenti ivi indicati.
3. M.G.Beghi, C.E.Bottani and G.Caglioti, accettato per la pubblicazione da Res Mechanica (1986).
4. M.G.Beghi, C.E.Bottani and G.Caglioti, Metallurg. Sc. and Technol., 2, 102 (1984)

DIDASCALIE

Figura 1 : Provino di AISI 316, precriccato, caricato a velocita' di traversa costante. Dimensioni del provino. Posizione dei sensori di temperatura. Temperature (1,2,3) e carico (L) misurati.

Figura 2 : Provino di AISI 316, precriccato, sottoposto a carico sinusoidale. Dimensioni del provino. Posizione dei sensori di temperatura.

Figura 3 : Carico, COD e temperature misurate sul provino di Fig.2 (NOTA: il COD non e' misurato sulla linea di applicazione del carico)

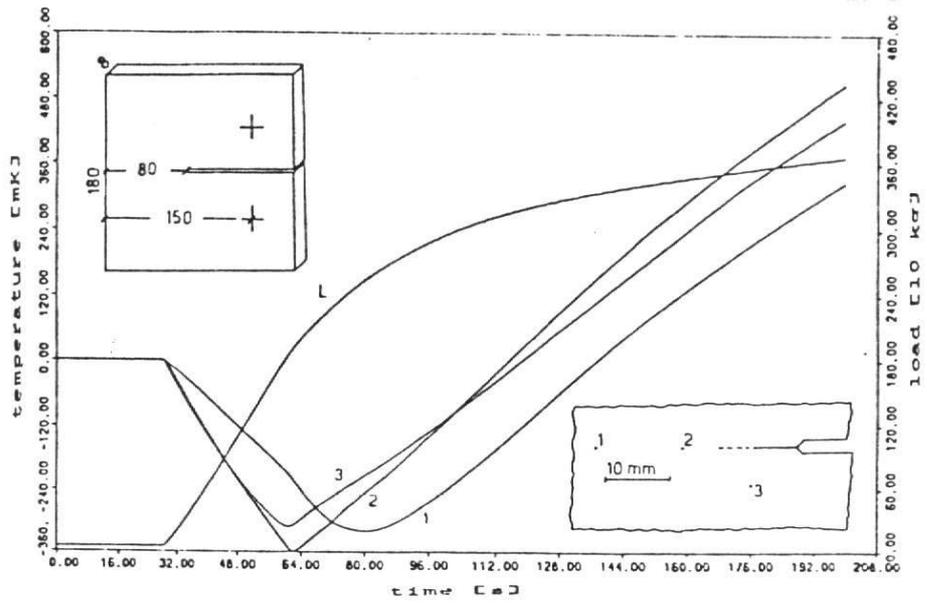


Fig. 1

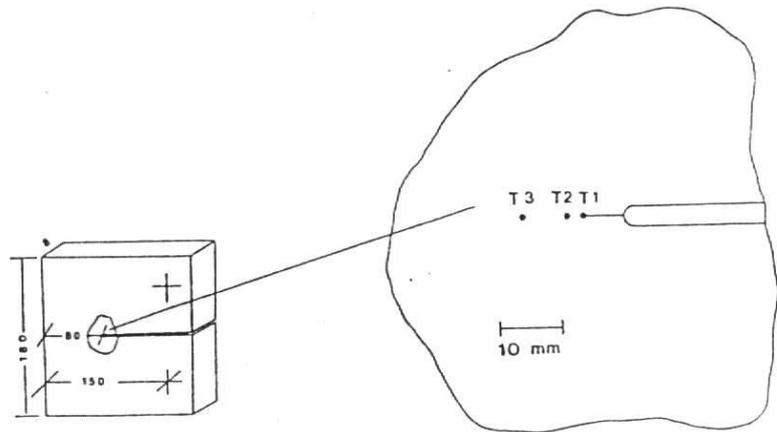


Fig. 2

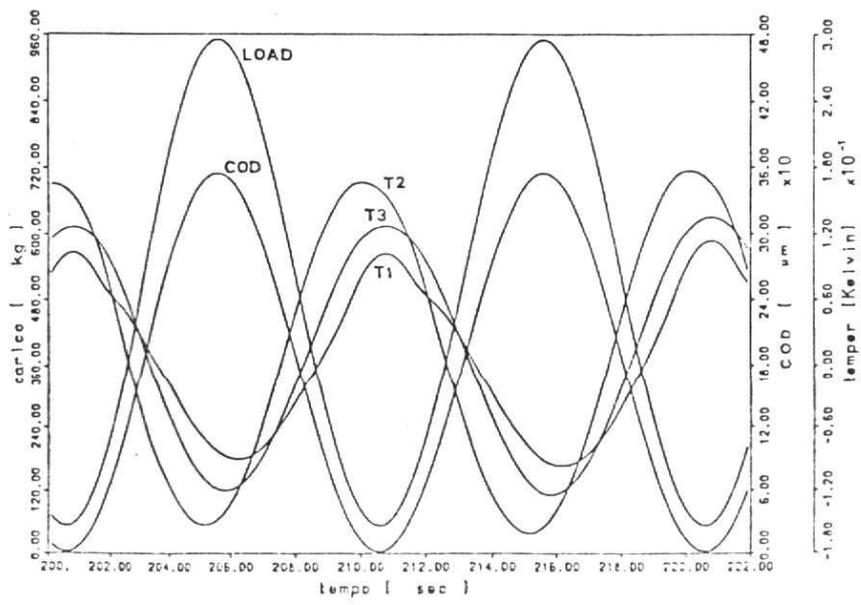


Fig. 3