

VI CONVEGNO NAZIONALE

ANCONA, 7 e 8 Giugno 1990

CARATTERIZZAZIONE DEL DANNEGGIAMENTO DI LAMINATI COMPOSITI
TRAMITE EMISSIONE ACUSTICA.C. Caneva⁰, L. Laviola⁰, M. Marchetti⁰⁰, M. Porzi⁰⁰⁰ Dipartimento ICMMPM Univ. "La Sapienza di Roma⁰⁰ Dipartimento Aerospaziale Univ. "La Sapienza" di Roma

SOMMARIO

Nei materiali compositi ed in particolare nei compositi con matrice polimerica, l'Emissione Acustica (E.A.) si presenta come uno dei metodi più sensibili per l'analisi fratturistica. Infatti se associata ad altre prove termomeccaniche, sia statiche che dinamiche, essa permette di individuare tipici aspetti come il debonding, la delaminazione etc.

Tuttavia, a differenza dai materiali metallici, nello studio dei compositi tramite E.A. debbono ancora essere sviluppati modelli analitici e teorici che correlino la meccanica del materiale con la teoria classica su cui si basa l'E.A.

In questo lavoro si è cercato di analizzare il comportamento di alcuni laminati in fibra di carbonio e resina epossidica. In particolare sono state effettuate prove statiche e dinamiche su laminati unidirezionali ed angle-ply confrontando i risultati con quelli ottenuti, durante la stessa prova, dalla E.A.

INTRODUZIONE

Come noto i meccanismi di rottura nei compositi sono costituiti dalla sovrapposizione di diverse tipologie di danneggiamento, come la rottura delle fibre, della matrice, delaminazione etc. (1), (2).

La maggior parte di queste traggono origine da fenomeni di tipo microstrutturale, per poi passare su scala macroscopica. Il loro studio tramite le analisi microscopiche, pur consentendo di trarre un grande numero di informazioni, è pur sempre limitato ad una analisi a posteriori del fenomeno stesso, mentre è della massima importanza avere a disposizione informazioni in tempo reale sulla formazione e propagazione del danneggiamento, e se possibile, correlarla con il suo aspetto energetico.

La Emissione Acustica (E.A.) si propone come un'interessante strumento per lo studio e la determinazione dei fenomeni di rottura dei materiali, soprattutto in quelli compositi, dove

le tipologie del danno sono numerose e le informazioni necessarie sono quindi maggiori (3).

Il termine E.A. sta ad indicare la generazione di onde elastiche di deformazione, di tipo transitorio, dovute al repentino rilascio di energia, localizzato all'interno del provino e dovuto ad esempio alla rottura del materiale.

Questo transiente di onde elastiche possiede frequenze che vanno da 20 KHz al MHz quindi oltre il limite di udibilità superiore. I meccanismi da cui si origina un fenomeno di questo tipo sono numerosi: essi includono propagazione di cricche, fratture, deformazione meccanica, spostamento e moltiplicazione di dislocazioni, corrosione, attrito etc.

Gli eventi di E.A. una volta verificatisi si propagano all'interno del materiale, fino a giungere sulla superficie esterna, dove possono essere captati da sensori appositamente collocati.

Numerosi studi sono stati effettuati nel tentativo di correlare i fenomeni di rottura dei materiali compositi, con i parametri dell'E.A (3).

Scopo di questo lavoro è stato appunto quello di individuare e correlare delle modalità di rotture tipiche, quali rottura delle fibre e della matrice, con gli eventi di E.A. rilevati su provini unidirezionali, nei quali è ben definito il meccanismo di rottura e su laminati più complessi.

Nel corso delle prove effettuate sono state anche verificate altre proprietà dell'E.A., quali l'effetto Kaiser e la potenzialità di localizzazione del difetto.

METODOLOGIA SPERIMENTALE E MATERIALE

Per l'acquisizione dei segnali è stato utilizzato un PAC 3000/3004 a quattro canali, due dei quali vengono posti "di guardia" associandoli ai trasduttori localizzati sulle ganasce della macchina di prova, in modo da tagliare tutti i segnali non provenienti dal provino, mentre i due in ascolto vengono posti sul provino ciascuno equidistante dalla mezzeria ed in prossimità del tab di estremità del provino.

Questa disposizione, testata con il metodo della mina, ha dimostrato di poter coprire tutto il provino in esame.

I trasduttori scelti sono di tipo ad alta frequenza (140 KHz) a banda stretta idonei a raccogliere i segnali associati alle rotture che si verificano in un materiale composito.

L'amplificazione totale è stata posta a 86 dB e la soglia a 3V.

In Fig. 1 riportato lo schema di tutta la strumentazione.

Le prove sono state condotte su provini ricavati da laminati in fibra di carbonio e resina epossidica, gentilmente forniti dalla Soc. SELENIA SPAZIO S.p.A. di Roma, seguendo le norme ASTM-D-3039-76.

Le caratteristiche principali del prepreg (Pitch 75 della Thornel e resina Fiberite 934), a temp. ambiente, sono::

Resistenza a trazione	957.71 MPa
Modulo a trazione	306.60 GPa
Modulo a flessione	286.62 GPa
Resistenza a flessione	621.47 MPa

Peso specifico	1.81
Spessore del ply dopo il ciclo di cura	0.127 mm
Percentuale di fibra	62%
Temp. di curing	176°C

Sono state costruite due diverse sequenze di laminazione:

a) Unidirezionale (8 strati); dal quale sono stati ricavati provini a 0° (direzione delle fibre) e 45°.

b) Angle-ply: (0°/45°/-45°/0°/0°/0°/90°)s

Le prove statiche sono state effettuate sia su provini vergini che su provini precedentemente sollecitati a fatica.

RISULTATI

Laminati Unidirezionali

Nella Fig. 2a,b sono riportate le distribuzioni di ampiezza su tre tipi di provini tagliati rispettivamente a 0° e 45°.

La Fig. 2c si riferisce invece ad un provino tagliato a 0° ma precedentemente sottoposto a cicli di fatica ($N=750.000$ cicli; $\sigma_{MAX} = 70\% \sigma_R$; $R=0.2$).

Come si può notare si è riscontrata solo una leggerissima differenza tra le due distribuzioni, peraltro qualitativamente in accordo con quanto trovato da altri ricercatori (3).

La rottura della matrice, (provino a 45°) emette segnale di ampiezza inferiore mentre le fibre emettono ad ampiezze superiori e con un maggior rilascio di energia.

Infatti, mentre nel caso del provino a 45° si è certi che l'unico fenomeno è la rottura della matrice, non si può dire altrettanto per i provini a 0°, dove oltre alla rottura delle fibre, si verifica sicuramente rottura della matrice, debonding ed altri fenomeni. Si deve fare quindi molta attenzione nel valutare i risultati ottenuti dalle prove.

Sebbene i fenomeni di rottura dei materiali compositi possano essere riconducibili a semplici tipologie di rottura, la formazione di fratture all'interno del materiale non deve necessariamente essere associata ad una di queste.

Di conseguenza nasce la necessità di studiare i fenomeni complessi di rottura solo in base a parametri fisici caratteristici quali ad esempio l'energia rilasciata.

Confrontando comunque l'istogramma della Fig. 2c, relativa al provino sollecitato a fatica, è possibile notare come sia presente una quantità inferiore di eventi a bassa ampiezza, dato che una buona parte delle rotture di matrice, dovrebbero essere verificate durante la sollecitazione a fatica fino a raggiungere il CDS (Characteristic Damage State), come anche osservato da Talreja (5).

Laminati multidirezionali

Nella Fig. 3 sono riportate le distribuzioni di ampiezza

ottenute su laminati multidirezionali.

Nella Fig. 4, riguardante la prova statica di un provino preventivamente sollecitato a fatica, si può notare, intorno agli 11 KN, la presenza di un plateau, che inizialmente si attribuiva a delaminazione.

Effettuando invece analisi tramite l'E.A. riportate nella Fig.6, si può notare come proprio in corrispondenza del plateau si ha una netta diminuzione degli eventi il che contrasta con l'ipotesi di una eventuale delaminazione.

EFFETTO KAISER E FELICITY

Si tratta di due tipici effetti della E.A., rivelatasi notevolmente utili nella determinazione del carico massimo sopportato da una struttura. Tali effetti non si riscontrano sempre su tutti i materiali, ma sono caratteristici dei compositi.

Applicando un carico ad un provino o ad una struttura, già precedentemente caricato, non si nota alcuna "emissione" sino a che non si raggiunge il carico precedentemente applicato.

Sulla base di questo effetto è stato introdotto un coefficiente (Felicity Ratio) significativo del danneggiamento interno del composito definito come il rapporto tra il carico in cui si osserva per la prima volta un evento di E.A. nella fase di ricarico e il carico massimo precedentemente applicato.

Questa misurazione viene comunemente usata per tenere sotto controllo le prestazioni di serbatoi a pressione realizzati in Filament Winding.

Nella Fig. 7 sono mostrati diversi grafici ottenuti nel corso delle prove statiche. In essi sono rappresentati i valori dell'energia in funzione del parametro esterno che, in questo caso, è il carico applicato.

Si nota immediatamente la differenza tra il provino UD6 ed i provini UD04 e AP6 che sono stati invece preventivamente sollecitati a fatica. Mentre nel primo caso, l'andamento dell'energia varia all'aumentare del carico applicato, nel secondo si nota un tratto costante sino ad un certo carico.

I tratti costanti corrispondono ad una fase in cui non si verificano eventi di "emissione acustica", dato che in questo caso era stato già applicato un carico durante la prova di fatica.

LA LOCALIZZAZIONE DEL DIFETTO

Una delle peculiarità della E.A. è la possibilità di localizzare il difetto nelle strutture o nel provino. Essa si basa sulla misurazione dei tempi relativi di arrivo del segnale di E.A. ai trasduttori. Naturalmente il difetto può essere localizzato se esso è molto più piccolo della struttura e se è localizzato in una regione specifica.

Esistono due tipi di localizzazione: la lineare e la bidimensionale. In questo lavoro si è fatto ricorso alla localizzazione lineare.

Le trasduttori sono montati sul provino come mostrato in Fig.8

Un evento che si origina dalla cricca arriva al trasduttore i nel tempo t_i e al trasduttore j nel tempo t_j .

L'apparato ad E.A. è in grado di calcolare il tempo relativo

di arrivo ai due trasduttori Δt_{ij} :

$$\Delta t_{ij} = t_j - t_i \quad (1)$$

E' ovviamente necessaria una procedura di calibrazione per determinare la distanza in tempo dei due trasduttori ΔT .

$$\Delta T = t_i + t_j \quad (2)$$

Dalle (1) e (2) si ottiene:

$$t_i = (\Delta T - \Delta t_{ij})/2 \quad (3)$$

che da la distanza in termini di tempo del difetto del trasduttore i .

A questo punto conoscendo il Δt_{ij} ed il tempo di calibrazione ΔT è possibile localizzare il punto in cui si è verificato il danno.

Tutti gli eventi generatisi al di fuori della distanza L tra i due trasduttori sono eliminati mediante i sensori di guardia. Durante le prove statiche effettuate sono state eseguite delle misurazioni di localizzazione. Nella Fig.9 è riportato il grafico relativo ad un provino unidirezionale di 24 strati al quale è stato applicato un foro al centro.

Il tempo ΔT di calibrazione è risultato essere di $28.4 \mu_s$, corrispondente nell'istogramma all'intero asse delle ascisse. I sensori risultano quindi essere posti a destra e a sinistra dell'istogramma.

Come si può ben notare il maggior numero di eventi lo si riscontra nella mezzeria del provino proprio dove è localizzato il foro.

BIBLIOGRAFIA

- 1) J.M. Berthelot, J. Rhazi "Acoustic Emission in Carbon Fibre Composites" Composites Science and Technology 37 (1990) 411-428.
- 2) J. Block "Characterization of Damage Progression in Fibre-reinforced Composites by Acoustic Emission" Engineering Application of New Composites (1988) pp. 340-346.
- 3) A. Rotem "Fracture modes identification of composite materials by acoustic emission analysis" Composites Technology Review, 6 (4), 145-158.
- 4) M. Porzi "Tesi di Laurea in Ingegneria Aeronautica" Roma 1990
- 5) Talreja R. "Fatigue of Composite materials" Technomic publishing Co.Inc. 1987

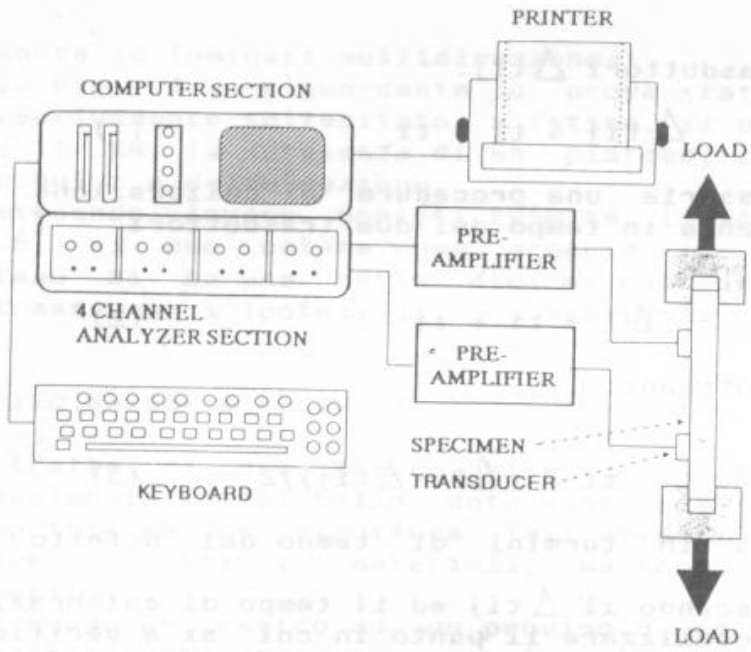


FIG. 1

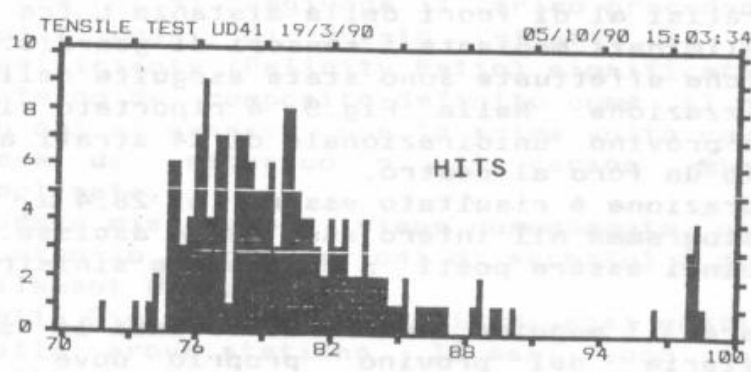


FIG. 2 a

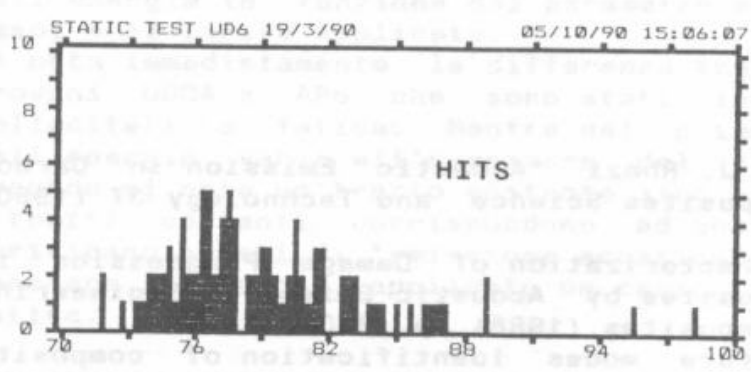


FIG. 2 b

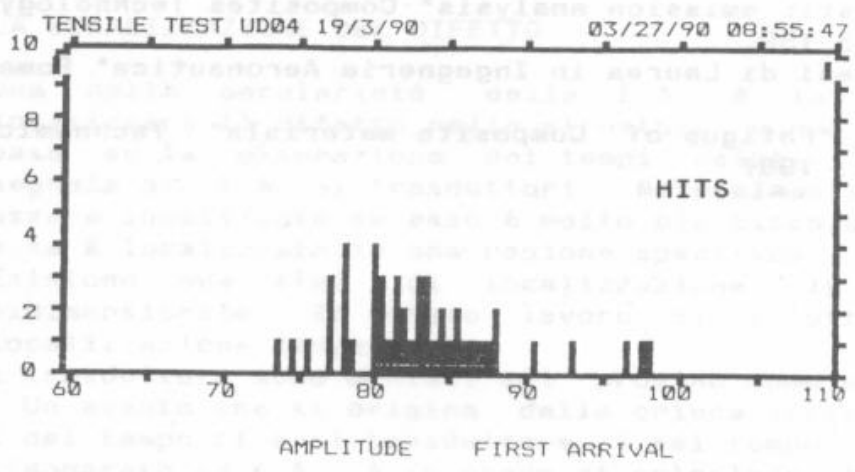


FIG. 2 c

FIG. 2

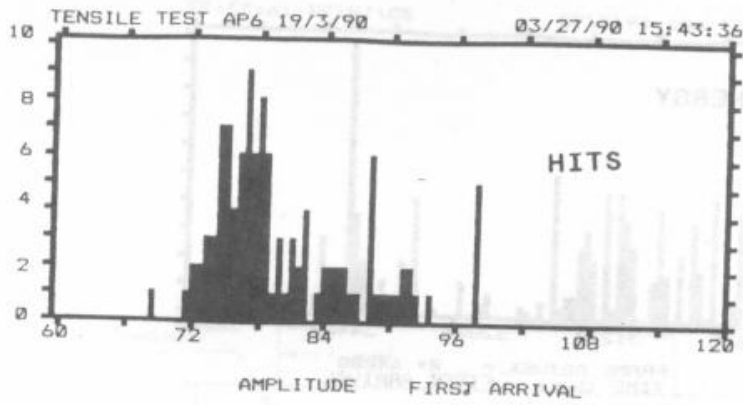


FIG. 3

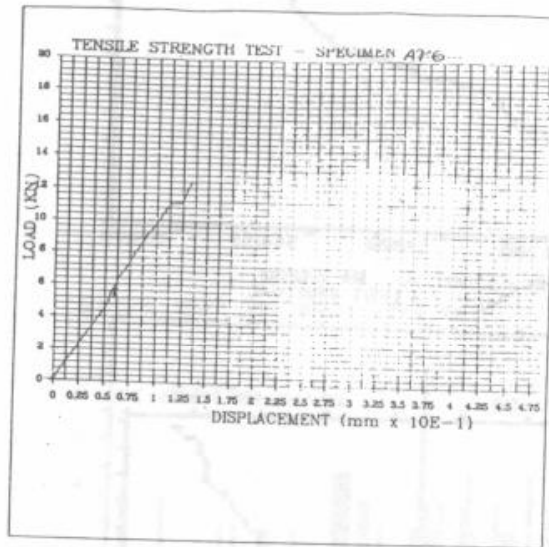


FIG. 4

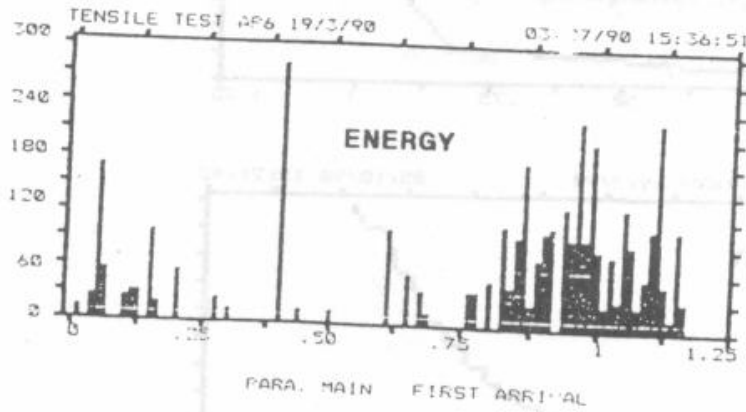
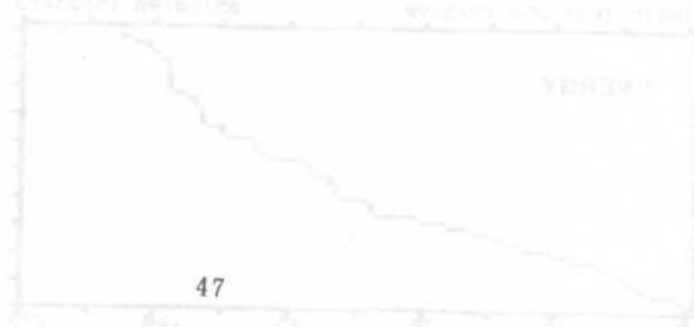


FIG. 5



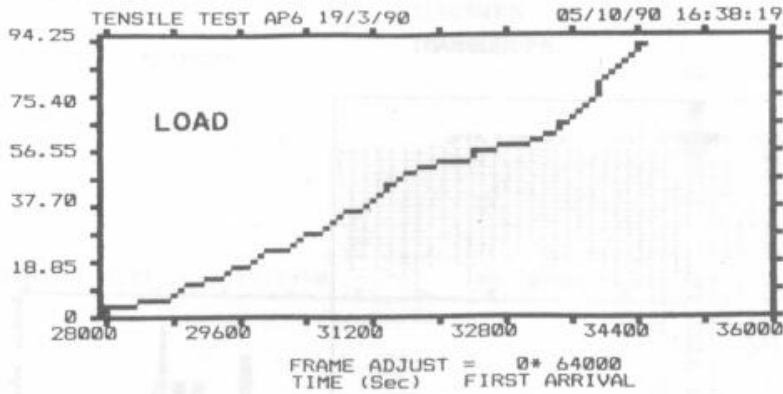
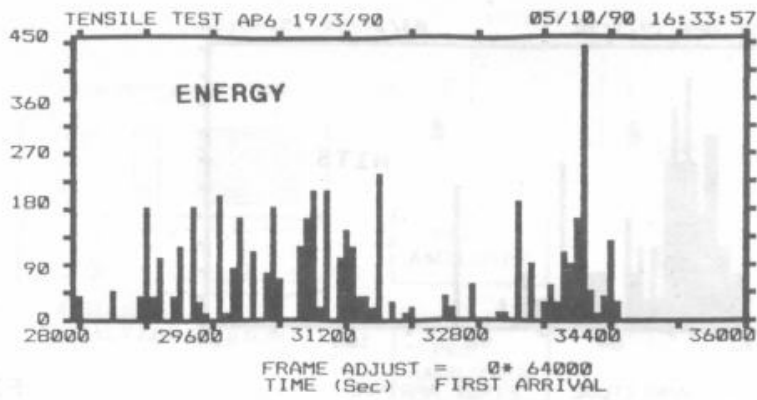


FIG. 6

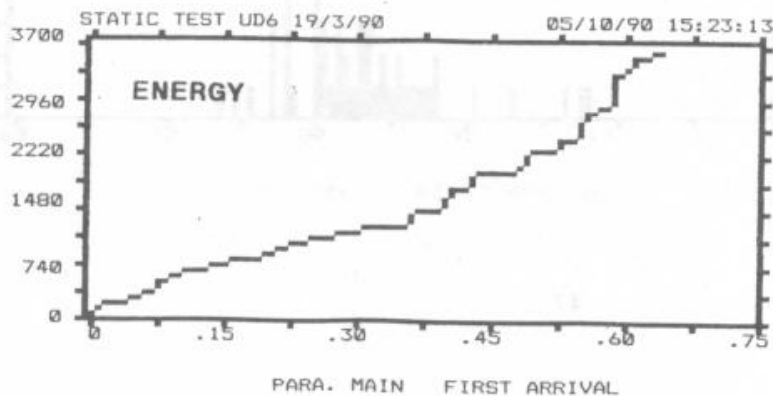
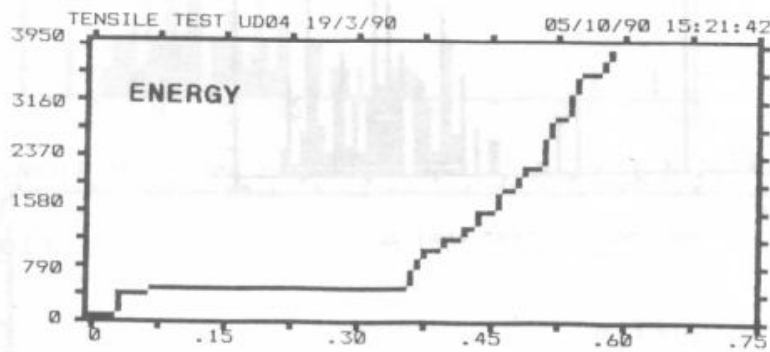
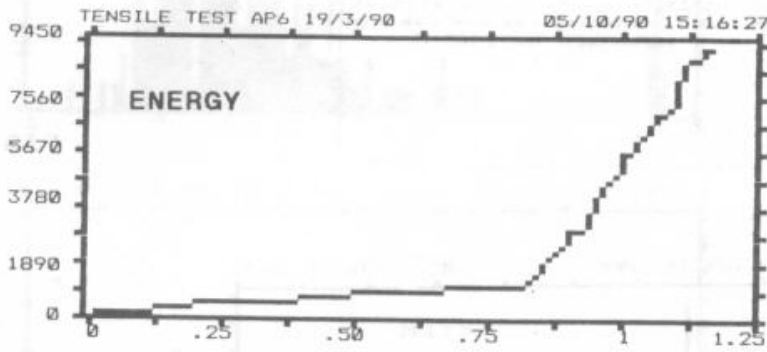


FIG. 7

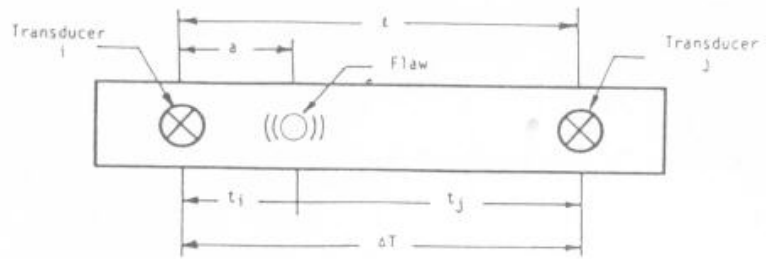


FIG. 8

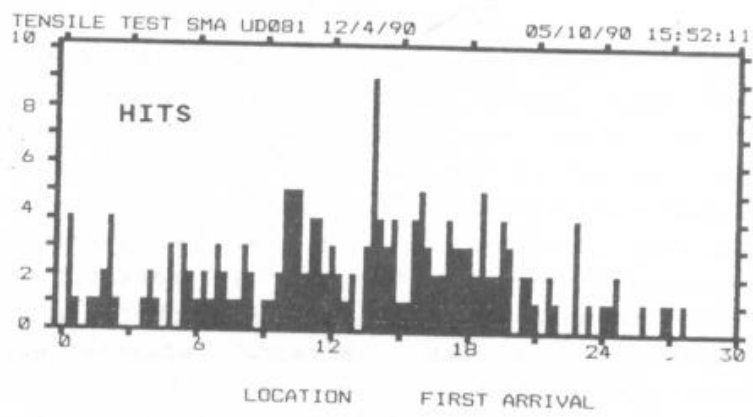


FIG. 9