

## 9.2 PROVE DI TENACITÀ ALLA FRATTURA

### 9.2.1 TIPI E PROPORZIONI DEI PROVINI

Visto che i risultati della prova sono poco influenzati dalla forma del provino, le norme raccomandano due tipi di provino, molto diversi tra loro:

1. provini a flessione (a tre e quattro punti)
2. provini C. T. (compact tension)

Entrambi i tipi sono caratterizzati da un intaglio molto acuto, che funge da innesco per una cricca di fatica, che viene fatta crescere in condizioni controllate di carico. Quando la lunghezza della cricca è quella desiderata il provino può essere sottoposto alla prova.

I *provini a flessione* (vedi figg. 46 e 48) sono grossolanamente simili ai provini per prova di resilienza; ma hanno due caratteristiche geometriche che li rendono inconfondibili: innanzitutto la presenza dell'intaglio acuto (mentre nei provini di resilienza è arrotondato) e soprattutto la presenza della cricca di fatica la cui profondità, rispetto alla faccia intagliata del provino, è indicata con  $a$ .

I *provini C. T.* (vedi fig. 47 e 48) hanno forma di parallelepipedo. Richiede meno materiale del provino di flessione, ma è più costoso per la necessità di lavorare i fori con precisione.

### 9.2.2 APPOGGI E AFFERRAGGI

Per ridurre al minimo l'attrito, le prove di flessione sono eseguite usando come appoggi rulli con o senza assi fissi. I diametri dei rulli e del punzone centrale dovrebbero essere compresi tra  $W/2$  e  $W$ .

Per le prove a trazione si usa un afferraggio a forcella chiudibile con un perno passante. Tra perno e fori occorre accoppiamento libero preciso.

### 9.2.3 DIMENSIONI DEI PROVINI

Il risultato della prova di  $K_{Ic}$  è considerato valido solo se la zona plastica all'apice della cricca sia molto piccola e se le condizioni sono prossime a quelle di deformazione piana. La mancanza di tale condizione è denunciata dalla configurazione obliqua delle superfici di frattura; se però queste si presentano ben piane e perpendicolari al carico, non è detto che la condizione di deformazione piana sia soddisfatta.

Vari autori hanno cercato una condizione sufficiente per la validità della prova. I risultati di queste ricerche sono stati condensati nelle prescrizioni delle norme ASTM E399 e BS 5447. Entrambe prescrivono che la lunghezza della cricca deve essere

$$a \geq 2.5 \left( \frac{K_{Ic}}{\sigma_s} \right)^2$$

affinché vicino al vertice della cricca lo stato tensionale sia sufficientemente prossimo a quello che si avrebbe in un materiale a comportamento lineare elastico. D'altronde sono sconsigliati valori di  $a/W$  maggiori di 0.55, perché oltre questo valore piccoli errori nella misura di  $a$  si traducono in forti errori di  $K_{Ic}$ . Il combinato disposto di queste due prescrizioni equivale a fissare un valore minimo di  $W$ .

Anche lo spessore  $B$  del provino deve essere

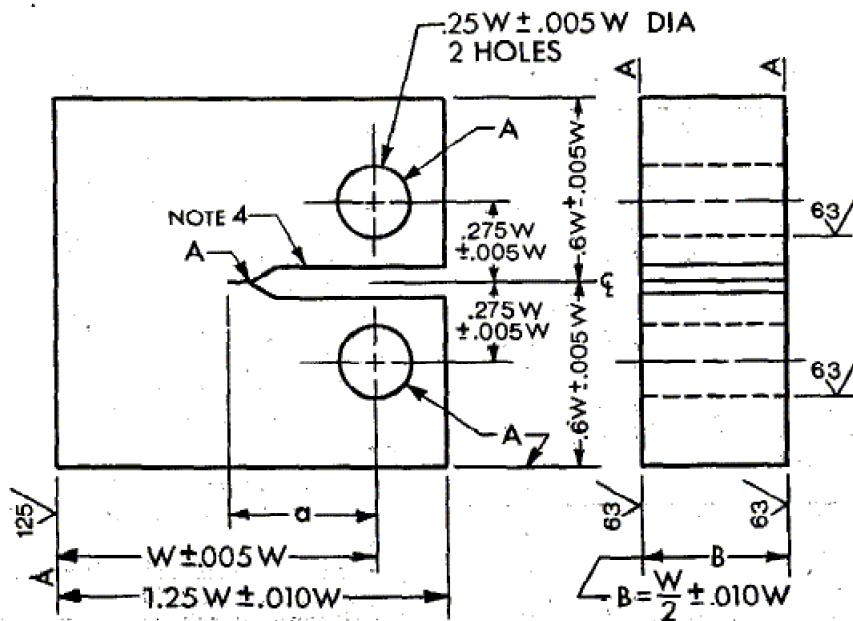
$$B \geq 2.5 \left( \frac{K_{Ic}}{\sigma_s} \right)^2$$

per assicurare che lo stato di deformazione all'apice della cricca sia piano.

#### 9.2.4 FORMAZIONE DELLA CRICCA DI FATICA

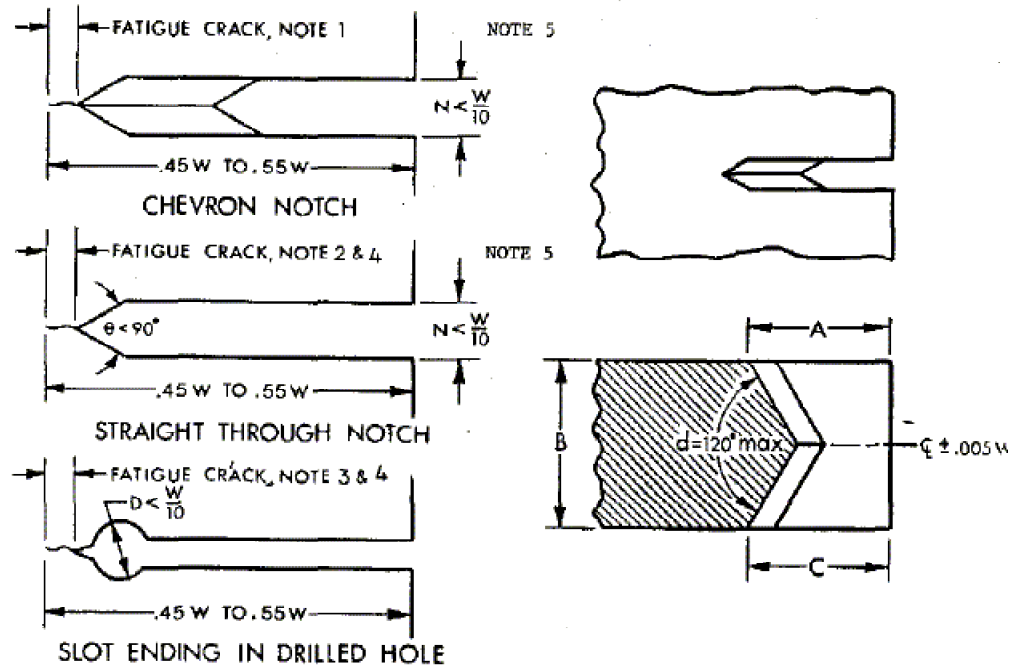
La formazione della cricca di fatica, fase essenziale nella preparazione del provino, deve seguire una ben precisa ricetta, per evitare che vi siano tensioni residue o plasticizzazioni all'apice della cricca.

1. la lunghezza della cricca per fatica non deve essere minore di 1.25 mm fermo restando il valore di  $a/W$ ;



- NOTE 1—A surfaces shall be perpendicular and parallel as applicable to within 0.002 W TIR.  
 NOTE 2—The intersection of the crack starter notch tips with the two specimen surfaces shall be equally distant from the top and bottom edges of the specimen within 0.005 W.  
 NOTE 3—Integral or attachable knife-edges for clip gage attachment to the crack mouth may be used (see Fig. 5 and 6).  
 NOTE 4—For starter notch and fatigue crack configuration see Fig. 7

Figura 47: Provino C. T.



(a) Starter Notches and Fatigue Cracks

NOTE 1—For a chevron crack starter notch the fatigue crack shall emerge on both surfaces of the specimen.

NOTE 2—Fatigue crack extension on each surface of the specimen containing a straight-through notch shall be at least 0.025 W or 0.050 in. (1.3 mm), whichever is larger.

NOTE 3—Fatigue crack extension on each surface of the specimen from the stress raiser tipping the hole shall be at least 0.5 D or 0.050 in. (1.3 mm), whichever is larger.

NOTE 4—Crack starter notch shall be perpendicular to the specimen surfaces and to the intended direction of crack propagation within  $\pm 2^\circ$ .

NOTE 5—Notch width N need not be less than  $\frac{1}{16}$  in. (1.6 mm).

(b) Detail of Chevron Notch

NOTE 1—A = C within 0.010 W

NOTE 2—Cutter tip angle  $90^\circ$  max

NOTE 3—Radius at chevron notch bottom 0.010 in. (0.25 mm) max

Figura 48: Particolari dell'intaglio nei provini di flessione e C.T.

2. la cricca deve essere piana, parallela al piano dell'intaglio e deve avere fronte rettilineo e parallelo al piano dell'intaglio (sono ammesse deviazioni non superiori a  $5^\circ$ ). Purtroppo questa condizione può essere accertata solo dopo la rottura del provino.
3. il valore di  $\Delta K$  durante la propagazione non deve essere minore di  $0.9 K_{max}$ . Ciò significa che la sollecitazione di fatica deve essere molto vicina alla condizione 'dallo zero' o addirittura alternata.
4. Il valore di  $K_{max}$  durante il primo stadio della propagazione della cricca può porsi uguale a  $0.75 K_{Ic}$ . Durante lo stadio finale, intendendo per questo gli ultimi 1.25 mm di crescita della cricca, deve essere

$$K_{max} \leq 0.6K_{Ic}$$

(secondo la norma ASTM)

Tipicamente la formazione della cricca richiede almeno 50000 cicli di carico.

### 9.2.5 STRUMENTAZIONE

La prova di frattura fragile è condotta in maniera molto simile alla prova di trazione. Per la misura degli spostamenti si usa un trasduttore, che concettualmente è un estensometro, posto a cavallo dell'intaglio (fig. 49)

Il carico viene fatto aumentare gradualmente in modo che  $K_I$  cresca di  $30 \div 150 \text{ MN m}^{-3/2}$  al minuto, che corrisponde ad una durata della prova tra 1 e 5 minuti.

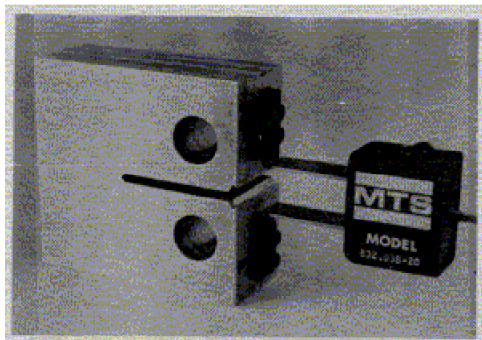


Figura 49: Trasduttore di spostamento

### 9.2.6 INTERPRETAZIONE DELLA PROVA

Durante la conduzione della prova si registrano istante per istante i valori del carico  $Q$  e dello spostamento  $s$ , fino alla rottura del provino.

L'andamento del diagramma carico - spostamento può presentare un punto di discontinuità più o meno accentuato al momento della propagazione instabile; il caso più favorevole è quello del quarto diagramma della fig. 50, mentre il più dubbio è quello del primo diagramma.

Per differenziare i vari casi si traccia una retta A sul prolungamento del primo tratto rettilineo e successivamente una seconda retta il cui coefficiente angolare sia il 95% del precedente. Come valore  $Q_q$  da usare nel calcolo di  $K_{Ic}$  si usa l'intercetta con la seconda retta o il massimo (se c'è) compreso tra le due rette.

La prova non è valida se lo scostamento del diagramma dalla prima retta è troppo 'dolce' come nel primo diagramma di fig. 50, in cui il segmento  $q_i$ , in corrispondenza dell'ordinata  $0.8Q_q$ , è maggiore di  $1/4$  del segmento  $q$ , misurato in corrispondenza di  $Q_q$ .

### 9.2.7 CALCOLO DI $K_{Ic}$

Per il calcolo di  $K_{Ic}$ , il valore di  $Q_q$  si introduce nella formula

$$K_{Ic} = \frac{QY}{B\sqrt{W}}$$

in cui il valore della cedevolezza  $Y$  è dato da uno sviluppo in serie di potenze di  $a/W$ , ma più comodamente dalle tabelle 9 e 10, rispettivamente per i provini a flessione e C.T.

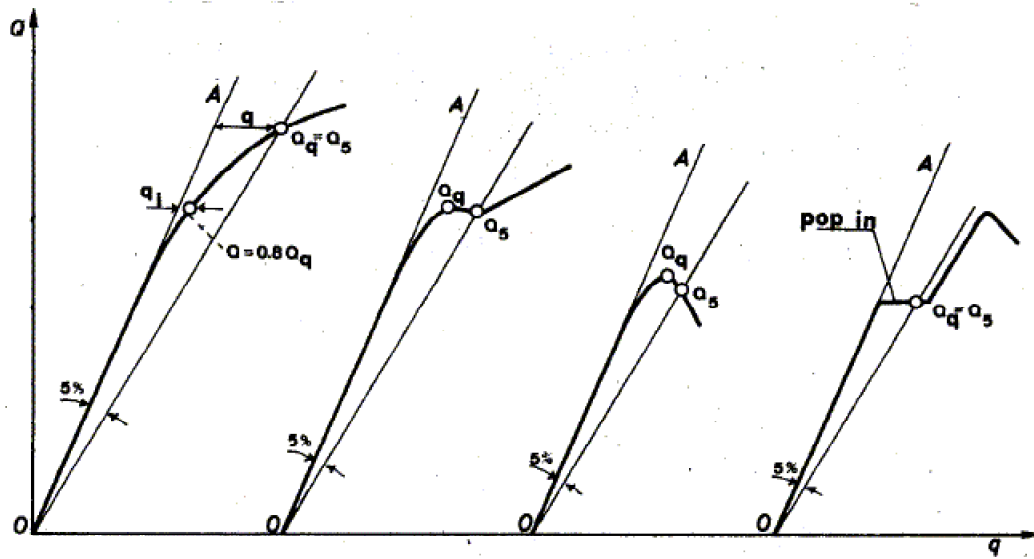


Figura 50: Principali tipi di diagrammi carico-spostamento per prove di  $K_{Ic}$

Tabella 9: Valori di  $Y$  al variare di  $a/W$  per provini di flessione a tre punti

$a/W$	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.450	9.10	9.13	9.15	9.18	9.21	9.23	9.26	9.29	9.32	9.35
0.460	9.37	9.40	9.43	9.46	9.49	9.52	9.54	9.57	9.60	9.63
0.470	9.66	9.69	9.72	9.75	9.78	9.81	9.84	9.87	9.90	9.93
0.480	9.96	9.99	10.03	10.06	10.09	10.12	10.15	10.18	10.21	10.25
0.490	10.28	10.31	10.34	10.38	10.41	10.44	10.48	10.51	10.54	10.58
0.500	10.61	10.65	10.68	10.71	10.75	10.78	10.82	10.85	10.89	10.93
0.510	10.96	11.00	11.03	11.07	11.11	11.14	11.18	11.22	11.25	11.29
0.520	11.33	11.37	11.40	11.44	11.48	11.52	11.56	11.60	11.64	11.67
0.530	11.71	11.75	11.79	11.83	11.87	11.91	11.96	12.00	12.04	12.08
0.540	12.12	12.16	12.20	12.25	12.30	12.33	12.37	12.42	12.46	12.50
0.550	12.55									

Tabella 10: Valori di  $Y$  al variare di  $a/W$  per provini C.T.

$a/W$	0.000	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.007	0.008	0.009
0.450	8.34	8.36	8.38	8.41	8.43	8.45	8.47	8.50	8.52	8.54
0.460	8.57	8.59	8.61	8.64	8.66	8.69	8.71	8.73	8.76	8.78
0.470	8.81	8.83	8.86	8.88	8.91	8.93	8.96	8.98	9.01	9.03
0.480	9.06	9.09	9.11	9.14	9.16	9.19	9.22	9.24	9.27	9.30
0.490	9.32	9.35	9.38	9.41	9.43	9.46	9.49	9.52	9.55	9.57
0.500	9.60	9.63	9.66	9.69	9.72	9.75	9.78	9.81	9.84	9.87
0.510	9.90	9.93	9.96	9.99	10.02	10.05	10.08	10.11	10.15	10.18
0.520	10.21	10.24	10.27	10.31	10.34	10.37	10.40	10.44	10.47	10.50
0.530	10.54	10.57	10.61	10.64	10.68	10.71	10.75	10.78	10.82	10.85
0.540	10.89	10.92	10.96	11.00	11.03	11.07	11.11	11.15	11.18	11.22
0.550	11.26									