

IGF6 - VI Convegno Nazionale
GRUPPO ITALIANO FRATTURA
Ancona, 7-8 giugno 1990

**MISURE DI TENACITA' ALLA FRATTURA SU AISI 4340 BONIFICATO
CON PROVINI SHORT BAR**

M. Cavallini¹, R. Fratesi², G. Roventi²

¹ Dipartimento ICMMPM, Università "La Sapienza" Roma e Facoltà di Ingegneria,
Università di Cassino

² Dipartimento di Scienze dei Materiali e della Terra, Facoltà di Ingegneria,
Università di Ancona

Sommario

L'acciaio AISI 4340 bonificato a basse temperature presenta il fenomeno della fragilità di rinvenimento della martensite che consiste in una diminuzione della tenacità, in parallelo con una diminuzione di durezza, al crescere della temperatura di rinvenimento nel campo 200-350°C. Il fenomeno è evidenziabile in modo diverso in funzione delle metodologie di misura della tenacità.

I provini short bar, con intaglio a freccia, permettono di misurare la tenacità alla frattura con una prova semplice e poco costosa; nel presente lavoro, tali provini sono stati impiegati per evidenziare l'effetto della temperatura di rinvenimento su acciai 4340 di diversa provenienza e l'influenza di un ambiente con leggera sovrappressione di idrogeno gassoso sulle modalità di propagazione della cricca.

Introduzione

Misurare la tenacità alla frattura in stato di deformazione piana su materiali con elevati valori del rapporto K_{IC}/R_s è spesso difficile, a causa delle dimensioni del prodotto a disposizione. Perchè una prova sia valida, è necessario infatti avere

spessori B e larghezze W che possono non essere compatibili con i prodotti commerciali.

Il ricorso ai provini Chevron-Notched Short-Bar (barrette con intaglio a freccia, di seguito chiamate "short bar") permette di ridurre le dimensioni rispetto alle classiche provette "Compact" (CT) e di evitare il precriccaggio a fatica; questa prova, messa a punto inizialmente su materiali fragili, è stata estesa ai materiali metallici tenaci [1-8].

La prova short bar fornisce una misura di K_{Ic} attendibile, purchè il materiale presenti una curva R ad andamento piatto; con curve R crescenti si può avere una sopravvalutazione della tenacità del materiale. In questo caso bisogna ricorrere ad opportune correzioni o utilizzare i risultati sperimentali solo come paragone interno, a parità di dimensioni dei provini. Per questo si farà riferimento ai valori di tenacità trovati con la prova short bar, adottando il simbolo $K_{Ic_{sb}}$.

Gli acciai del tipo AISI 4340 bonificati trovano vasta applicazione quando occorre una elevata resistenza meccanica. In campo aeronautico vengono impiegati a resistenze dell'ordine dei 2000 MPa, ottenute con rinvenimento a bassa temperatura ($\sim 300^\circ\text{C}$) dopo tempra in olio. Ma nell'intervallo di temperatura tra 200 e 350°C presentano il fenomeno della fragilità di rinvenimento della martensite (FRM) che, a differenza dell'analogo fenomeno che si verifica a più alte temperature di rinvenimento, coinvolge i primi meccanismi di precipitazione dei carburi e di trasformazione dell'austenite residua. Passando dal rinvenimento a 200°C a quello a 300°C , si osserva una parallela diminuzione della tenacità (tipicamente da $Cv = 20 + 25 \text{ J}$ a $Cv = 9 + 18 \text{ J}$ in prove di resilienza) e della durezza (tipicamente da $50 + 51 \text{ HRC}$ a $46 + 47 \text{ HRC}$) [10 + 12].

Recentemente [12], è stata studiata l'influenza di un caricamento catodico di idrogeno su questi stessi acciai prodotti con diverse tecnologie (AM, ESR, VAR, DVM), trattati nel campo critico della FRM.

Scopo del presente lavoro è di verificare i meccanismi a suo tempo proposti della FRM [10, 11] e di misurare la perdita di tenacità con i provini short bar, anche in presenza di atmosfera idrogenante.

Procedure sperimentali e materiali

Con riferimento alla figura 1, in Tabella 1 sono indicati i simboli comunemente utilizzati per i parametri geometrici dei provini short bar e le dimensioni dei provini usati nel presente lavoro.

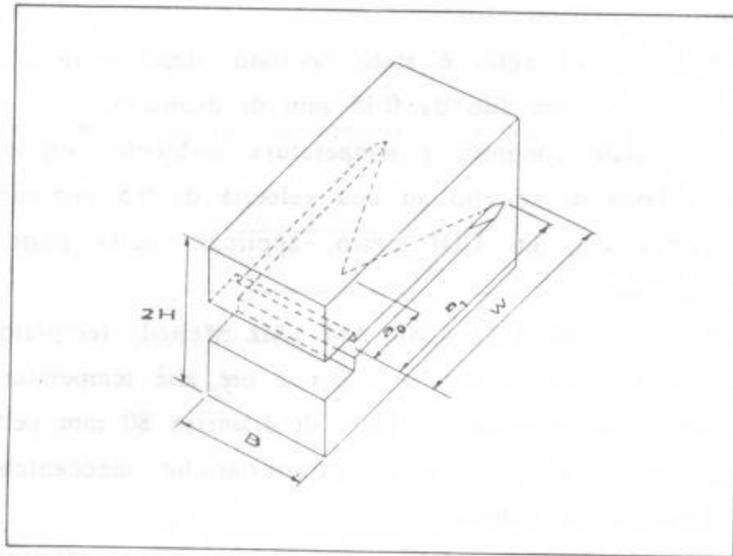


Fig. 1 - Geometria dei provini short bar.

Tabella 1 - Dimensioni dei provini short bar.

B	=	2H	=	12 mm
W	=	a ₁	=	26 mm
α ₀	=	a ₀ / W	=	0.10
α ₁	=	a ₁ / W	=	1
ω	=	W / H	=	4.3

Durante la prova la cricca inizia a formarsi per carichi molto bassi in corrispondenza dell'apice della freccia e si propaga per valori crescenti del carico. Il provino si rompe dopo aver superato il carico massimo P_m , cui corrisponde il minimo della funzione Y^* , dato dalla formula [3]:

$$Y^*_m = [-0.36 + 5.48 \omega + 0.08 \omega^2 + (30.65 - 27.49 \omega + 7.46 \omega^2) \times \alpha_0 + (65.90 + 18.44 \omega - 9.76 \omega^2) \times \alpha_0^2] \times [(\alpha_1 - \alpha_0) / (1 - \alpha_0)]^{1/2}$$

che è valida nel campo $0 < \alpha_0 < 0.4$ e permette di calcolare la tenacità alla frattura "short bar" mediante la $K_{Icsb} = P_m Y^*_m / [B W^{1/2}]$ senza bisogno di registrare le

curve carico/apertura dell'intaglio.

Nel presente lavoro l'intaglio è stato lavorato, dopo tempra e rinvenimento, utilizzando l'elettroerosione, con filo da 0.15 mm di diametro.

Le prove sono state condotte a temperatura ambiente, applicando il carico tramite afferraggi a lama di coltello ad una velocità di 0.5 mm/min e registrando l'apertura della cricca con un COD-metro, applicato sulla parte anteriore del provino.

L'acciaio studiato è un AISI 4340 AM (Air Melted) temprato in olio dopo permanenza di 1 ora a 870°C e rinvenuto per 2 ore alle temperature di 200, 300, 470°C. I provini sono stati prelevati da barre di diametro 80 mm nella direzione del lungo. La composizione chimica e le caratteristiche meccaniche per i vari trattamenti sono riportate in Tabella 2.

Le prove di infragilimento da idrogeno sono state effettuate tenendo il campione sotto carico in atmosfera di leggera sovrappressione di idrogeno gassoso. Il provino short bar è stato mantenuto per 48 ore sotto un carico statico pari al 25% di quello massimo della prova di K_{Icsb} ; in seguito si è provveduto ad aumentarlo di circa 200 N ogni 24 ore fino al raggiungimento della rottura finale.

Tabella 2 - Composizione chimica (wt%) e caratteristiche meccaniche del materiale utilizzato.

C	Ni	Cr	Mn	Mo	Si	Cu	P	S
0.42	1.70	0.85	0.80	0.22	0.33	0.05	0.008	0.002
T rinvenimento (°C)				200		300		470
R _m (MPa)				2010		1750		1360
R _s (MPa)				1730		1420		1260
HRC			51		47		41	
Cv (J)			18		9			

Risultati

I risultati delle prove sono riportati in Tabella 3, a paragone con quelli precedentemente trovati [10-12]. Le prove in idrogeno hanno avuto bisogno di

tempi molto lunghi.

Tabella 3 - Tenacità alla frattura con provini short bar K_{Icsb} e con provini CT K_{Ic} [11].

T rinvenimento (°C)	200	300	470
K_{Icsb} (MPa m ^{1/2})	51.4	51	103
K_{Ic} (MPa m ^{1/2})	58	80	112
Prova in idrogeno			
K_{Icsb} (MPa m ^{1/2})	32.3	30.6	> 80

Discussione

La FRM si rileva molto bene con la prova di resilienza e con quella E_{co} [10, 11], ma non con quella di K_{Ic} . La prova short bar è in grado di rilevare il fenomeno perchè, come quella di resilienza, coinvolge maggiori volumi di materiale durante la propagazione della cricca che non la prova di K_{Ic} , che è legata alla prima instabilità del sistema criccato ed alla formazione di una zona tenace all'apice della cricca prodotta per fatica.

Lo spessore D scelto per i provini short bar è sufficiente nelle prove sui rinvenuti a 200 e 300°C, mentre si dimostrerebbe inadeguato per le prove sul 470°C. La relazione che individua il raggiungimento di condizioni di deformazione piana per un materiale che presenta un carico di snervamento R_m è:

$$B > f \left(K_{Ic} / R_m \right)^2$$

ed è valida sia per la cricca piana passante della geometria CT che per quelle del provino short bar. L'intaglio a freccia agevola l'instaurarsi della triassialità degli sforzi riducendo la zona che lavora in condizioni di sforzo piano. Nel caso del provino "compact" f è uguale a 2.5, mentre nel caso del provino short bar alcuni propongono [6] $f = 1 + 1.25$; pertanto le dimensioni scelte per il provino short bar

sono sufficienti per tutte le condizioni sperimentali trovate.

In mancanza di una registrazione della curva COD/tempo nella prova sotto idrogeno, è stato calcolato solo il valore di K_I per il quale si ha rottura; i risultati riportati in Tab. 3 indicano un chiaro effetto infragilente sul materiale rinvenuto alle temperature più basse, con maggiore severità sul rinvenuto a 300°C, come già precedentemente evidenziato [12]. La morfologia della frattura osservata al SEM mostra una notevole presenza di inclusioni (il materiale è fuso in aria) tra le quali si riconoscono sia solfuri di manganese che ossidi di alluminio, disposti sul piano di propagazione della frattura. La frattura è di tipo misto con zone a dimples e zone di quasi clivaggio nel caso dei rinvenuti a 200 e 300°C provati in aria, mentre i dimples scompaiono per lasciar posto al quasi clivaggio e a zone di frattura intergranulare quando è presente idrogeno.

Conclusioni

L'acciaio SAE 4340 bonificato a bassa temperatura presenta il fenomeno della fragilità di rinvenimento della martensite, rilevabile come diminuzione di tenacità alla frattura misurata tra rinvenuti a 200 e 300°C con la prova short bar. In queste condizioni il materiale è decisamente sensibile alla presenza di idrogeno gassoso. I provini short bar si dimostrano, per la facilità di costruzione e di gestione della prova, adatti allo studio sia di tenacità che di danneggiamento da idrogeno.

Ringraziamenti

Si ringrazia la società LTS Agusta per aver fornito il materiale. La ricerca è stata effettuata con finanziamento MPI/MURS.

Bibliografia

- 1) L.M. Barker "A Simplified Method for Measuring Plane Strain Fracture Toughness". Engin. Fract. Mech. 9, 1977, 361.
- 2) D. Munz, R.T. Bubsey, J.E. Srawley "Compliance and Stress Intensity Coefficients for Short Bar Specimens with Chevron Notches". Int. J. Fract., 16, 1980, 359.

- 3) D. Munz "Determination of Fracture Toughness of High Strength Aluminum Alloys with Chevron Notched Short Rod and Short Bar Specimens". *Engin. Fract. Mech.*, 15, 1981, 231.
- 4) R.T. Bubsey, D. Munz, W.S. Pierce, J.L. Shannon Jr. "Compliance Calibration of the Short Rod Chevron-Notch Specimen for Fracture Toughness Testing of Brittle Materials". *Int. J. Fract.* 18, 1982, 125.
- 5) J. Eschweiler, D. Munz "Comparison of Fracture Toughness of Aluminum Alloys from Short Bar and Compact Specimens". *Int. J. Fract.* 20, 1982, 131.
- 6) R.C. Bradt, A.G. Evans, D.P.H. Hasselman, F.F. Lange, Eds. "Fracture Mechanics of Ceramics". Plenum, New York, 1983.
- 7) J.H. Underwood, S.W. Freiman, F.I. Baratta, Eds. "Chevron Notched Specimens: Testing and Stress Analysis". ASTM STP 855, Philadelphia, 1984.
- 8) G. Nicoletto "Sulla determinazione della tenacità a frattura di un acciaio al NiCrMoV mediante provini con intaglio chevron". XIV Convegno AIAS. Catania 23-27.09.86.
- 9) D. Veschi, V. Dal Re "Influenza della struttura a bande sulle caratteristiche meccaniche di acciai da cementazione". *Metall. Ital.* 12, 1988, 969.
- 10) M. Cavallini, M. Ballarin, V. Wagner "Fragilità di rinvenimento della martensite in acciai del tipo AISI 4340 UNI 40NiCrMo7". *Metall. Ital.* 7/8 (1983) 486.
- 11) M. Cavallini, M. Ballarin, V. Wagner "An appraisal of Energy crack zero test in the evaluation of tempered martensite embrittlement". *Metall. Sci. Technol.* 2 (1984) 8.
- 12) R. Fratesi, G. Roventi, M. Cavallini "Hydrogen-inclusion interaction in tempered martensite embrittled SAE 4340 steels". *Mater. Sci. Engin.* A119 (1989) 17.