

PROPAGAZIONE DI CRICCA DI FATICA IN UNA GHISA SFEROIDALE

F.

Iacoviello, L. Jaresova

*Dipartimento di Ingegneria Industriale, Università di Cassino
via G.di Biasio 43, 03043, Cassino (FR)*

Sommario

E' stata analizzata la resistenza alla propagazione della cricca di fatica in una ghisa sferoidale a matrice ferrito-perlitica (%ferrite = 80%), considerando in particolare l'influenza del rapporto di carico ($R = 0.1, 0.5, 0.75$). Le prove sono state effettuate in aria, alla frequenza di 20 Hz. Le superfici di frattura sono state analizzate per mezzo del microscopio elettronico a scansione (SEM). I risultati ottenuti per $R = 0.5$ sono stati confrontati con quelli ottenuti su una ghisa avente una più elevata frazione di ferrite (%ferrite = 90%).

Abstract

The fatigue crack propagation resistance in a spheroidal cast steel with a ferritic-perlitic matrix (%ferrite= 80%), considering the stress ratio influence ($R = 0.1, 0.5, 0.75$), has been analysed. Tests in air at the frequency of 20 Hz were carried out. Fracture surfaces by means of a scanning electron microscope (SEM) have been analysed. Results obtained with $R=0.5$ have been compared with those obtained considering a spheroidal cast steel with a higher ferrite volume fraction (%ferrite = 90%).

1. Introduzione

Le ghise sferoidali hanno ultimamente trovato un crescente numero di applicazioni come materiale strutturale in diversi campi, grazie alle loro migliorate duttilità e resistenza, che sono arrivate ad essere comparabili con quelle di numerosi acciai. Esse presentano la grafite sotto forma sferoidale. Tale forma comporta un minore danneggiamento della matrice metallica per la presenza della grafite rispetto alle ghise lamellari. Ciò è dovuto sia all'effetto di intaglio che risulta meno severo nel caso della grafite sferoidale rispetto alla grafite lamellare, sia alla diminuzione della sezione efficace che risulta inferiore nelle ghise sferoidali rispetto alle ghise lamellari, a parità di carbonio grafítico.

Tali ghise sono ottenute mediante aggiunta di magnesio nella ghisa da trattare a circa 1450°C. La matrice metallica può essere perlitica, con oppure senza cementite libera, oppure ferrito-perlitica.

La propagazione della cricca di fatica nelle ghise sferoidali è decisamente influenzata dalla frazione di volume di carbonio grafítico, dalla dimensione, forma e distribuzione degli sferoidi, dalla composizione chimica, dalla microstruttura [1].

2. Materiale e procedure sperimentali

E' stata considerata una ghisa sferoidale con la seguente composizione chimica:

Tabella 1

Composizione chimica della ghisa considerata (% in peso, il resto è Fe).

C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Mg	Sn
3.72	2.14	0.31	0.017	0.032	0.049	0.051	0.054	0.026

Tale ghisa è stata fornita dopo ferritizzazione, ed è caratterizzata da una matrice essenzialmente ferritica (con una frazione ferritica pari all'80%), con una densità di noduli pari a 100 noduli/mm² (figura 1). Essa è caratterizzata da una durezza di 145-150 HB.

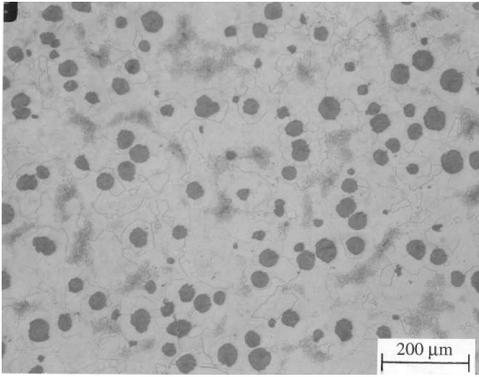


Figura 1: Ghisa 80% ferritica. Distribuzione degli sferoidi di grafite nella ghisa analizzata (microscopio ottico).

I provini CT (Compact Type) utilizzati per le prove di fatica sono stati ricavati da saggi colati a parte conformemente alle prescrizioni della normativa UNI ISO 1083 (tipo II).

Le prove di fatica sono state eseguite secondo la normativa ASTM E647 [2], utilizzando una macchina per prove meccaniche INSTRON 8501 da 10 t, controllata mediante computer. La misurazione della lunghezza della cricca è stata effettuata durante lo svolgimento della prova mediante rilevamento estensimetrico. Le prove sono state svolte in aria, nelle condizioni di umidità e temperatura del laboratorio. La cricca di fatica è stata fatta propagare in condizioni di ampiezza di carico costante. Tale carico è stato applicato secondo una forma d'onda sinusoidale, alla frequenza di 20 Hz. Sono stati investigati tre diversi rapporti di carico R (P_{\min}/P_{\max}): 0.1, 0.5, 0.75.

Le superfici di frattura sono state estensivamente analizzate per mezzo del microscopio elettronico a scansione (SEM) dotato di EDX.

I risultati ottenuti per $R = 0.5$ sono stati confrontati con quelli ottenuti con un'altra ghisa sferoidale, avente una composizione chimica leggermente diversa (tabella 2) ed una matrice metallica caratterizzata da una più elevata frazione di ferrite (%ferrite = 90). Essa ha una densità ed una distribuzione degli sferoidi confrontabile con la precedente ghisa.

Tabella 2

Composizione chimica della ghisa utilizzata per il confronto ad $R = 0.5$ (% in peso, il resto è Fe).

C	Si	Mn	S	P	Cu	Cr	Mg	Sn
3.65	2.74	0.30	0.012	0.032	0.14	0.063	0.052	0.035

3. Risultati sperimentali

I risultati delle prove di propagazione della cricca di fatica effettuate sulla ghisa sferoidale con la % di ferrite = 80% sono rappresentati in figura 2.

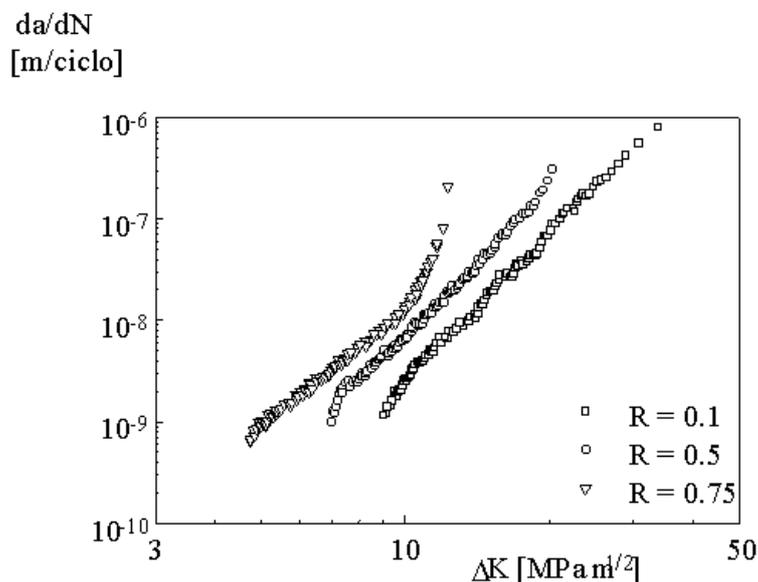


Figura 2: curve di propagazione della cricca di fatica per la ghisa sferoidale con la matrice metallica avente una frazione ferritica pari a 80%.

I risultati della figura 2 mostrano una importante influenza dell'effetto di chiusura, evidente per tutti i valori di ΔK applicato, a partire dalla soglia fino alla rottura di schianto. Tale effetto di chiusura è probabilmente dovuto alla rugosità della superficie di frattura, che diviene il meccanismo di chiusura più importante grazie alla presenza degli sferoidi di grafite [3,4].

Le curve di propagazione della figura 2 sono state interpolate, nello stadio II di propagazione (stadio lineare), mediante l'utilizzazione della relazione di Paris-Erdogan [5].

$$\frac{da}{dN} = C \Delta K^m$$

I risultati ottenuti sono esposti nella tabella 3.

La zona della soglia è stata investigata, per tutti e tre i rapporti di carico, mediante prove di propagazione effettuate ad R costante, con ΔK decrescente fino ad ottenere una velocità di propagazione di 10^{-10} m/ciclo (figura 3). Tale valore di velocità di propagazione della cricca è sufficiente, nel caso delle ghise sferoidali, per identificare con una accuratezza sufficiente il valore della soglia. Tali prove sono state effettuate due volte, ed i valori ottenuti hanno confermato una buona ripetibilità dei risultati. Inoltre, i valori ottenuti con tale procedura sono congruenti con quelli estrapolabili dal diagramma di figura 2, per i differenti rapporti di carico.

Tabella 3

Coefficienti "C" ed "m" della relazione di Paris-Erdogan

R	M	C
0.1	4.72	$4.89 \cdot 10^{-14}$
0.5	4.56	$1.88 \cdot 10^{-13}$
0.75	3.74	$2.25 \cdot 10^{-12}$

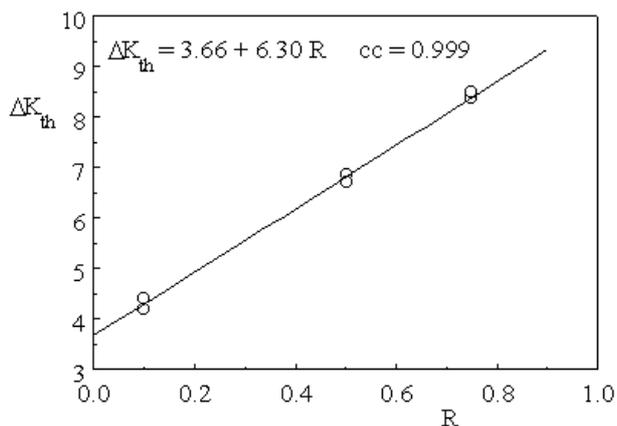


Figura 3: Valore del ΔK_{th} in funzione del rapporto di carico R per la ghisa sferoidale con la matrice metallica avente una frazione ferritica pari a 80%.

Nell'intervallo di valori di R considerato, i valori del ΔK di soglia ottenuti per i differenti valori di R sono interpolabili secondo la seguente relazione lineare:

$$\Delta K_{th} = 3.66 + 6.30 R$$

Tali valori della soglia sono confrontabili con i valori disponibili in bibliografia [1, 6].

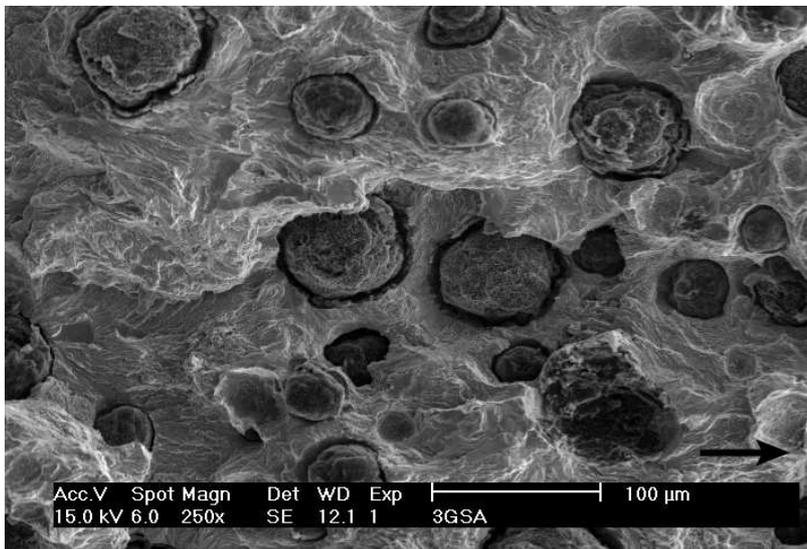


Figura 4: Ghisa 80% ferritica. Superficie di frattura $R = 0.75$ ($da/dN = 2 \cdot 10^{-9}$ m/ciclo). La freccia indica la direzione di propagazione della cricca.

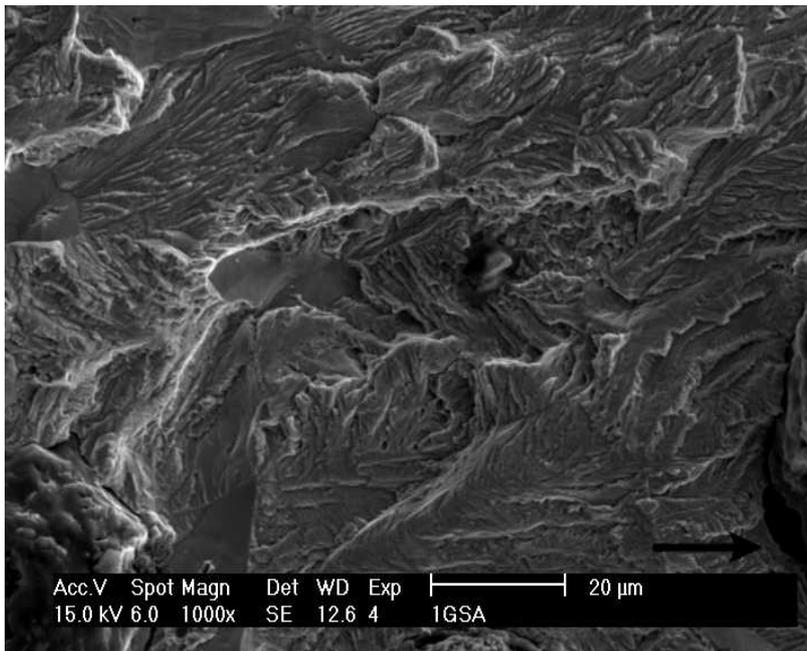


Figura 5: Ghisa 80% ferritica. Superficie di frattura $R = 0.1$ ($da/dN = 5 \cdot 10^{-8}$ m/ciclo). La freccia indica la direzione di propagazione della cricca.

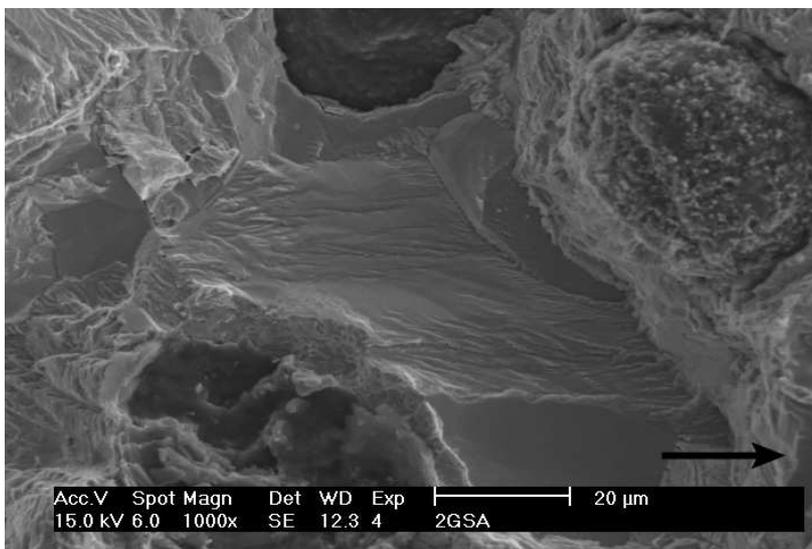


Figura 6: Ghisa 80% ferritica. Superficie di frattura $R = 0.5$ ($da/dN = 8 \cdot 10^{-8}$ m/ciclo). La freccia indica la direzione di propagazione della cricca.

L'analisi delle superfici di frattura effettuata al microscopio elettronico a scansione (SEM) mostra una sostanziale indipendenza della superficie di frattura dal rapporto di carico. La cricca di fatica tende a propagarsi all'interno della matrice metallica, senza evidenziare

alcun percorso preferenziale (figura 4). Gli sferoidi di grafite non sono mai tagliati dalla cricca di fatica, dato che l'interfaccia sferoide-matrice è decisamente meno resistente dello sferoide stesso. La loro distribuzione decisamente omogenea all'interno della matrice metallica corrisponde ad una propagazione macroscopica nel piano da $da/dN-\Delta K$ che non presenta oscillazioni macroscopiche.

La matrice metallica presenta una superficie di frattura piuttosto duttile (figura 5) con alcune zone di rottura per clivaggio (figura 6). Le fessure secondarie sono decisamente rare.

In corrispondenza del valore del rapporto di carico $R = 0.5$ sono state inoltre effettuate tre prove di propagazione della cricca di fatica sulla ghisa sferoidale avente una matrice ferritica per il 90%. I risultati ottenuti hanno mostrato una ottima ripetibilità dei risultati in tutte e tre le zone di propagazione della cricca di fatica. In figura 7 sono mostrate le curve di propagazione per le due ghise considerate, per $R = 0.5$. E' evidente che le due ghise hanno un comportamento confrontabile nello stadio II di Paris, caratterizzato da una pressoché totale sovrapposibilità delle due curve. Il comportamento risulta notevolmente differente nello stadio I e nello stadio III. Nello stadio I la ghisa caratterizzata da una percentuale di ferrite nella matrice metallica pari al 90% mostra un valore della soglia dell'ampiezza del fattore di intensificazione degli sforzi, ΔK_{th} , decisamente superiore (circa $8.5 \text{ MPa m}^{1/2}$ a fronte di circa $6.8 \text{ MPa m}^{1/2}$ della ghisa sferoidale con l'80% di ferrite). Anche lo stadio III risulta migliorato, in quanto la minore presenza di perlite nella matrice metallica comporta un aumento della tenacità K_{IC} e, quindi il valore di $\Delta K_{max} = (1-R) K_{IC}$ risulta anch'esso aumentato.

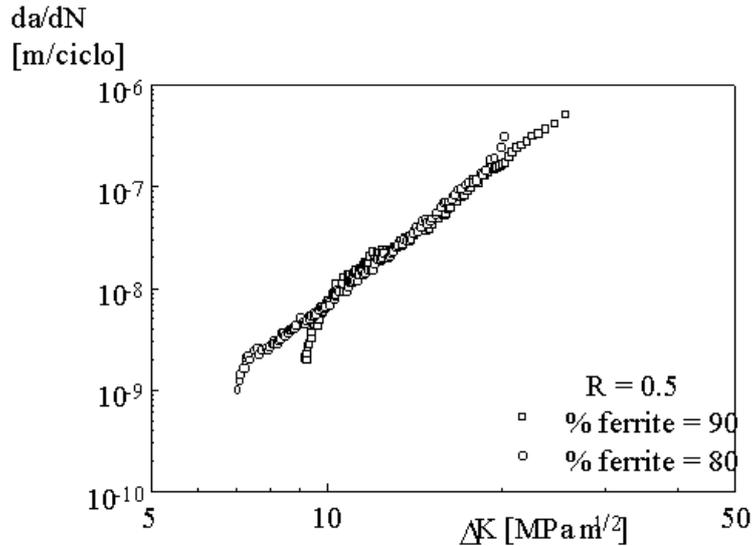


Figura 7: Curve di propagazione della cricca di fatica per le due ghise sferoidali considerate ($R=0.5$).

La superficie di frattura non differisce troppo da quella della ghisa con l'80% di ferrite, se pure con alcune differenze. Le fessure secondarie sono meno rare e si innescano in corrispondenza dell'interfaccia sferoide-matrice. Si hanno ancora alcune zone di rottura per clivaggio, se pure meno frequenti che nel caso precedente (figura 8). Gli sferoidi vengono aggirati dalla cricca di fatica, con un evidente scollamento della matrice dallo stesso sferoide. Si ha un graduale aumento della dimensione del vuoto lasciato dallo sferoide, fino ad avere un enorme aumento delle dimensioni dei vuoti in corrispondenza della rottura di schianto. Tale aumento delle dimensioni dei vuoti può comportare anche una loro coalescenza (figura 9).

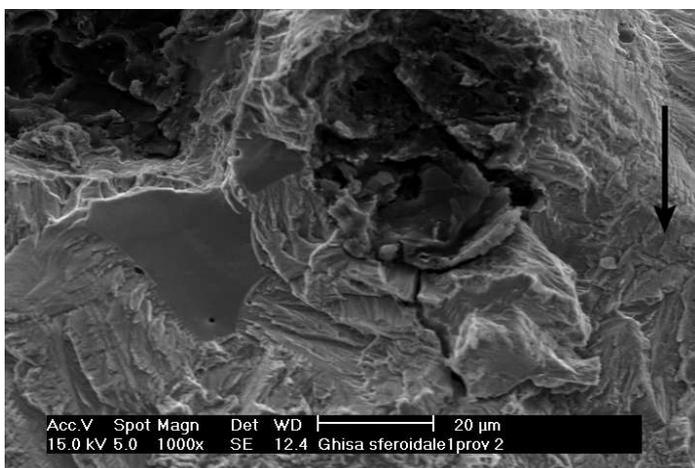


Figura 8: Ghisa 90% ferritica. Superficie di frattura $R = 0.5$ ($da/dN = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/ciclo}$). La freccia indica la direzione di propagazione della cricca.

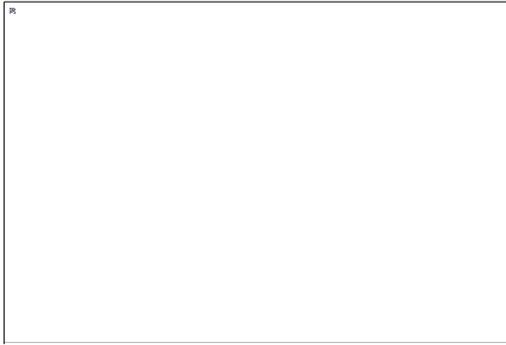


Figura 9: Ghisa 90% ferritica. Superficie di frattura $R = 0.5$ (zona di transizione rottura per fatica-rottura di schianto). La freccia indica la direzione di propagazione della cricca.

4. Conclusioni

In questo lavoro è stata analizzata l'influenza del rapporto di carico sulla propagazione della cricca di fatica in una ghisa sferoidale caratterizzata da una matrice ferrito-perlitica, con una frazione ferritica pari all'80%.

La resistenza alla propagazione della cricca di fatica varia con il rapporto di carico grazie alla presenza degli sferoidi di grafite che, aumentando notevolmente la rugosità della superficie di frattura, aumentano l'importanza dell'effetto di chiusura dell'apice della cricca.

E' stata considerata inoltre una ghisa sferoidale con una matrice caratterizzata da una più elevata frazione ferritica (90%). Tale ghisa mostra una resistenza alla propagazione della cricca di fatica che differisce dalla precedente nello stadio I e III, mentre resta identica nello stadio II (stadio lineare di Paris). In corrispondenza della soglia e dello schianto si ha un evidente miglioramento del comportamento a fatica, con valori della soglia e dello schianto decisamente più elevati.

In entrambi i casi, gli sferoidi vengono aggirati dalla cricca di fatica. Lo scollamento dello sferoide coincide con un incremento della dimensione della sede dello sferoide, con una evidente deformazione plastica. Tale incremento, in corrispondenza della rottura di schianto, aumenta notevolmente, fino a mostrare una certa coalescenza dei vuoti.

5. Ringraziamenti

Si ringrazia la FONDERGHISA s.p.a. per la fattiva collaborazione.

6. Bibliografia

- [1] K. Tokaji, T. Ogawa, K. Shamoto , *Fatigue*, vol.16, 344 (1994).
- [2] *Annual book of ASTM Standars*, E647-91, American Society for Testing and Materials, 674 (1991).
- [3] W.Elber *ASTM STP* 486, 280 (1971).
- [4] R.O. Ritchie, S. Suresh, *Metall. Trans. A*, vol.13A, 937 (1981).
- [5] P.C. Paris , F. Erdogan , *Trans ASME, J. Basic eng.*, 85n, 528 (1963).
- [6] T. Ogawa, H. Kobayashi, *Fatigue Fract.Eng. Mater. Struct.*, vol. 10, 273 (1989).

Atti del convegno

[[Precedente](#)] [[Successiva](#)]

