

# 126 フェライト基地球状黒鉛鑄鉄の低サイクル疲労特性 に及ぼす黒鉛性状の影響

九工大[院] 学○若林 洋介 九工大・工 正 黒島 義人  
九工大・工 正 原田 昭治 日立金属(株) 吉田 敏樹

## 1. 緒言

球状黒鉛鑄鉄(以下DI材と称する)は鑄鉄組織中の片状黒鉛を球状化することにより高強度、高じん性を実現した鑄鉄である。しかし、DI材は一般の鉄鋼材料とは異なり、その強度性質は、(1)基地組織の種類、(2)熱処理条件および化学成分によって変化する基地組織状態、(3)黒鉛性状、(4)ひけ巣の存在、等の影響を受けて複雑に変化する<sup>(1)-(4)</sup>。このため、DI材は疲労強度特性にばらつきのある強度信頼性に乏しい材料である。このばらつきの主要原因として、主き裂発生起点が、ひけ巣等の鑄造欠陥であること、また内部黒鉛からのき裂発生および連結おきること、があげられ、これらの要素がDI材の低サイクル疲労寿命に大きな影響を及ぼしている。そこで、本研究ではDI材の信頼性向上のために、低サイクル疲労寿命に及ぼす黒鉛性状の影響について検討した。

## 2 実験方法

供試材は冷却速度を変え、黒鉛性状を変化させた三種類のフェライト基地DI材であり、同材を最小径部 $\phi 8\text{mm}$ の砂時計型試験片に機械加工後、R部表面をエメリ紙及びアルミナ粉末を用いて鏡面に仕上げた。以後、冷却速度の速い順に、H、M、L材と呼ぶ。表1に各材の黒鉛性状を示す。低サイクル疲労試験には電気油圧サーボ式引張圧縮疲労試験機(容量98kN)を使用し、繰返し速度0.05~0.2Hzの塑性ひずみ幅制御引張圧縮条件により室温大気中で実施した。また、破面観察は走査型電子顕微鏡(SEM)を用いた。内部黒鉛周囲の観察は、疲労試験を途中で中断した試験片を主き裂起点部と試験片中心軸を含む縦断面で切断し、切断面を電解研磨により除去、SEMにより観察した。

## 3. 実験結果および考察

図1にDI材の低サイクル疲労試験結果を示す。同図より各ひずみ毎に同一材料間で大きなばらつきが見られ、さらにひずみ幅が増大するにつれてばらつきが大きくなるという特異な傾向が見られた。同一材料間のばらつきの原因は、主き裂起点となった欠陥寸法差によるものと考え、起点欠陥寸法で寿命を

整理した。結果の一例を図2に示す。同図より低ひずみ側において欠陥寸法の増加とともに寿命が低下するという欠陥寸法依存性が存在し、この傾向は他材でも確認された。図3は、欠陥寸法依存性が認められた低ひずみ幅側における三種類の材料の起点欠陥寸法と寿命の関係を図3に示したものである。図から明らかなように寿命は同一ひずみ幅、同一欠陥寸法において材料間で差異が存在している。この差はき裂伝ばに及ぼす各材間の黒鉛性状差の影響と考え、疲労試験を途中で中断し試験片縦断面の黒鉛周囲の挙動を観察した。その結果、内部黒鉛からき裂が発生しており、それらが主き裂進展を加速していることが確認された。このことから、黒鉛寸法、分布は内部き裂起点寸法、分

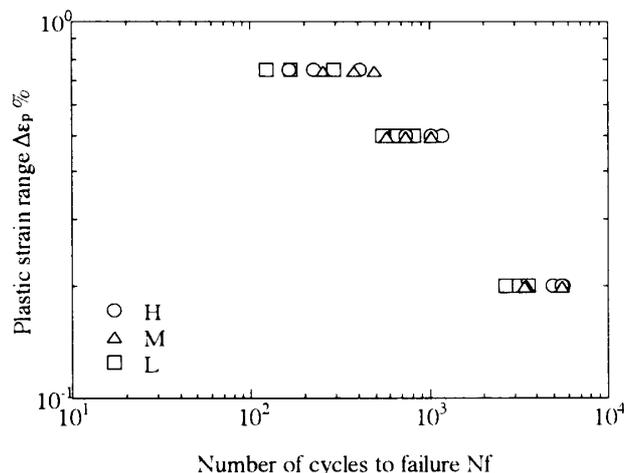


Fig. 1 Results of fatigue test.

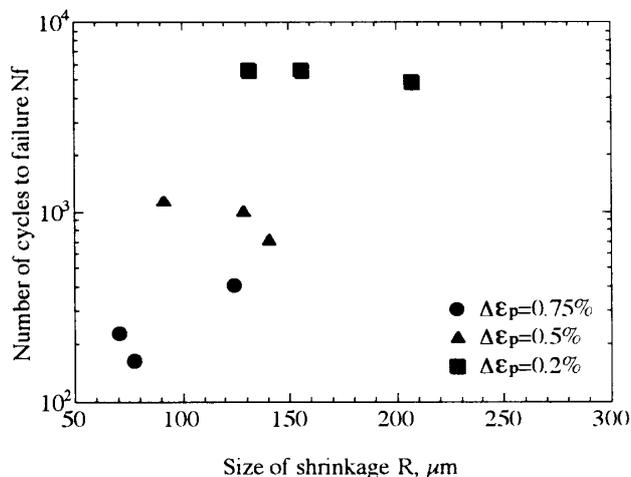


Fig. 2 Relationship between shrinkage cavity size and number of cycles to failure Nf (H series).

Table 1 SG-morphology related parameters.

	$f_g$ (%)	$n_g$ ( $\mu\text{m}^2$ )	$D_a$ ( $\mu\text{m}$ )	$h_g$ (%)
H	8.730	648.2	13.31	66.88
M	7.688	566.9	14.35	65.07
L	9.873	553.9	15.19	68.36

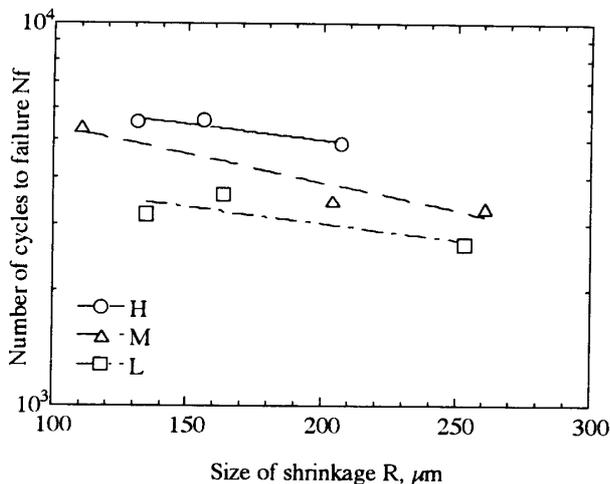


Fig. 3 Relationship between shrinkage cavity size and number of cycles to failure  $N_f$  ( $\Delta\epsilon_p=0.2\%$ ).

布とみなせる<sup>(5)</sup>ため各材料の黒鉛寸法分布を求めた。その結果を図4に示す。結果と図3をみると、同一欠陥寸法において寿命が短いほど大黒鉛の頻度が多いことが分かった。以上のことから、低ひずみ側における疲労寿命は起点欠陥寸法と大黒鉛の頻度に支配されていることが明らかとなった。

次に高ひずみ側の寿命支配因子について検討するため、高ひずみ側で複数本の疲労試験を行い、欠陥寸法と寿命の関係を再検討したその結果を図5に示す。同図より、高ひずみ側では欠陥寸法依存性が見られないだけでなく欠陥寸法の小さな領域で寿命が急減している。この寿命の急減領域と他の領域との相違を明らかにするため破断面観察を行ったところ、寿命が急減した領域では主き裂進展痕が小さくまた最終破断面との間に明瞭な境界が見られた。DI材について表面主き裂以外の内部損傷による疲労破壊は、極低サイクル疲労域で生じることが報告されている<sup>(6)</sup>。この場合の疲労損傷は内部黒鉛を核としたポイドの発生とその成長であるとされている。そこで同様の損傷が生じているか否かを確認するため、最終破断面側の破面をより詳細に観察した。その結果、最終破断面で数個の黒鉛を内包する特異なデンプルが認められた。そこで、疲労試験を破断直前で中断し試験片縦断面を黒鉛周囲に注目して観察したところ、黒鉛より発生したき裂の連結による50μm~100μm程度の内部き裂が複数個観察された。これらのことは、主き裂の進展限界に至る以前にリガメント部で内部黒鉛からのき裂進展、連結による内部損傷が蓄積し、引張破壊したことを示唆している。すなわち、高ひずみ側では、主き裂の成長による表面破壊と、内部損傷の蓄積による内部破壊の二つの破壊モードが存在し、短寿命側に位置する条件で破壊するものと推測される。従って、内部破壊は常に表面破壊以前となり、短寿命側に寿命のばらつきを増大させると考えられる。

#### 4. 結論

(1)低ひずみ側での疲労寿命のばらつきは初期欠陥寸法差によるものである。

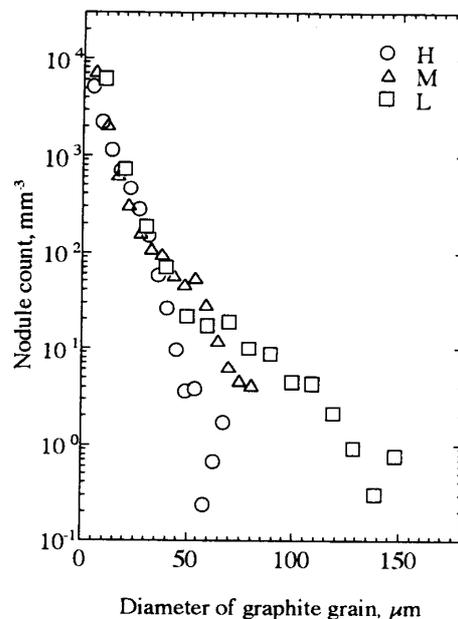


Fig. 4 Graphite grain size distribution in a unit volume.

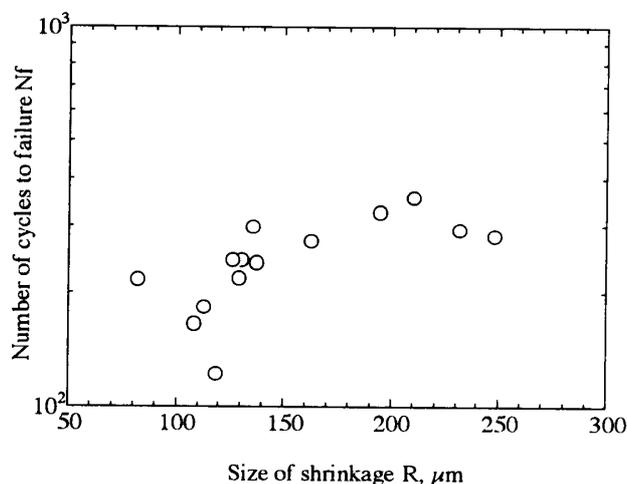


Fig. 5 Relationship between shrinkage cavity size and number of cycles to failure  $N_f$  (L series,  $\Delta\epsilon_p=0.75\%$ ).

- (2)黒鉛性状の相違は大黒鉛の頻度差となって低ひずみ側の疲労寿命に影響を及ぼす。
- (3)高ひずみ側で初期欠陥寸法依存性が認められない原因は、内部き裂の伝ば・連結による内部破壊型の破壊モードが介入するためである。
- (4)破壊モード遷移により高ひずみ側の寿命のばらつきは低ひずみ側より増大する。

#### 参考文献

- (1) 祖父江 昌久, 鋳物, 51, 281 (1978)
- (2) 遠藤 正浩, 材料, 38, 1139 (1989)
- (3) 祖父江 昌久, 鋳物, 53, 635 (1981)
- (4) 田中 雄一, 河村 公治, 加藤 清夫, 井川 克也, 鋳物, 53, 500 (1981)
- (5) 黒島 義人, 小野田 智彦, 植田 隆浩, 原田 昭治, 矢野 満, 日本機械学会論文集, A-61, 705 (1995)
- (6) 安達 卓, 小茂鳥 潤, 清水 真佐男, 川崎 一博, 日本機械学会論文集, A-59, 291 (1993)