The Society of Materials Science, Japan

727

ラジカル窒化を施した球状黒鉛鋳鉄の疲労強度に及ぼす欠陥寸法の影響

徳山高専　○西村太志　　徳山高専　森野数博

Effect of Defect Size on Hight Cycle Fatigue Strength of Nitrided Spheroidal Graphite Cast Iron

Futoshi NISHIMURA and Kazuhiro MORINO

1 緒　言

球状黒鉛鋳鉄は高強度かつ高じん性と静的特性は優れているにもかかわらず，疲労特性は基地組織と同じ鋼に比べて大きく劣っている．その疲労特性を改善する方策として，表面改質が効果的であることが球状黒鉛鋳鉄についても報告されており[1) 2)]，著者らもラジカル窒化処理を施すことにより，球状黒鉛鋳鉄の疲労強度が改善されることを明らかにしてきた[3) 4)]．しかしながら，そこで用いた試験片はYブロックに鋳込んだ材料の最下部から切り出し，機械加工したものであり，実機に比べると存在する欠陥サイズは小さい．そのため，実機に対してもラジカル窒化が有効であるか明らかにするためには欠陥寸法の大きい材料を用いて実験を行い，その有効性を確認しておく必要がある．そこで本報では．欠陥寸法が大きいと考えられるYブロック上部から切り出したフェライト系球状黒鉛鋳鉄に対してラジカル窒化を施し，回転曲げ疲労試験を行い，鋳放し材ならびに最下部から切り出した窒化材と対比することにより，ラジカル窒化を施した球状黒鉛鋳鉄の疲労強度に及ぼす欠陥寸法の影響について検討を行った．

2 使用材料，試験片および実験方法

供試材にはYブロックに鋳込んだフェライト系球状黒鉛鋳鉄（FCD400相当，以下FDI）を用いた．試験片はYブロック上部から切り出したもの（上部材）をFig.1に示す形状に機械加工した後，中央部表面をエメリペーパおよびバフ研磨して鏡面状に仕上げた．その後，NH_3とH_2の混合ガス中で530℃-10hのラジカル窒化処理を行っている．また，Yブロック下部から切り出したもの（下部材）に対して同じ処理を施し，比較材として用いた．両者の黒鉛性状をTable1に示す．上部材の窒化後の横断面写真をFig.2に示す．これより，拡散層は表面から200μm程度の深さまで生じており，表面には2～3μmの化合物層が生成されていることがわかる．

疲労試験は小野式回転曲げ疲労試験機を用い，室温大気中で行った．さらに破断後の破面を走査型電子顕微鏡（SEM）により観察した．

Table 1　Characteristics of spheroidal graphite

	D_m (mm)	N_g (1/mm^2)	f_g (%)	h_g (%)
Upper	26.4	159	11.3	70.2
Lower	30.1	115	9.83	75.4

D_m : Average graphite diameter　N_g : Nodule count
f_g : Area fraction of graphite　h_g : Nodularity

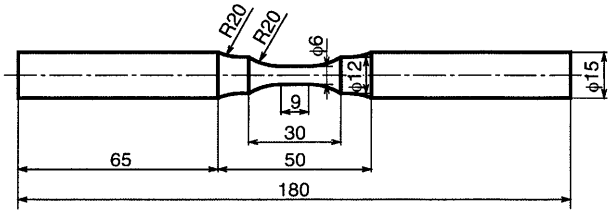


Fig.1 Shape and dimension of specimen.

3 実験結果および考察

ラジカル窒化がFDIの硬さに及ぼす影響を明らかにするため，窒化材のフェライト部の硬さ分布を測定した．Fig.3に横断面におけるビッカース硬さ分布を示す．これより，上部材においても下部材と同様にフェライト部の表面の化合物層はHV740と硬く，拡散層は200μm程度内部まで傾斜的に硬化しており，表面直下ではHV500

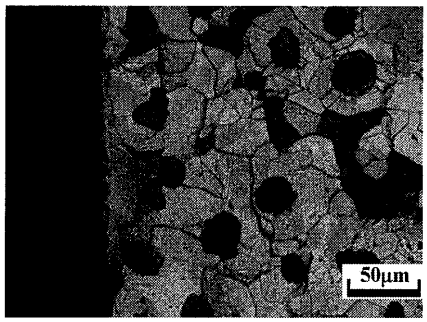


Fig.2 Photograph of cross section of nitrided FCD400.

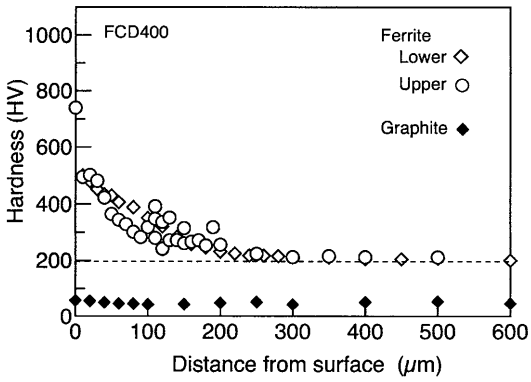


Fig.3 Hardness distribution.

NII-Electronic Library Service

The Society of Materials Science, Japan

と母材（約HV200）の約2.5倍の硬さであった．これより，窒化材の硬さ分布に関しては採取位置による差がないことがわかる．

Fig.4に回転曲げ疲労試験で得れれた鋳放し材と窒化材のS-N曲線を示す．これより，上部鋳放し材の疲労強度は下部材に比べて低下するとともに，ばらつきが大きいことがわかる．また，下部材では10^8回疲労強度は210MPaであったのに対し，上部材では110MPaと大きく低下している．これは上部材の方が下部材に比べて欠陥寸法が大きいためではないかと考えられる．そこでまず，鋳放し材についてSEMによる破面観察を行った．

Fig.5に応力振幅350MPにおける上部鋳放し材の破断面を示す．Fig.5(a)はN_f =4.0x10^5と下部材とほぼ同じ寿命であったものを示しており，(b)はN_f =3.8x10^4と(a)に比べてひとけた程寿命が短かったものを示している．これより，寿命が長かった試験片の破壊起点には下部材と同様に表面近傍に異常黒鉛が存在していることがわかる．一方，寿命が短かったものは表面近傍に1mm以上にわたるドロ巣が存在しており，下部材に比べて大きな欠陥が存在したことが上部材の疲労強度を低下させ，ばらつきを大きくした原因であると考えられる．

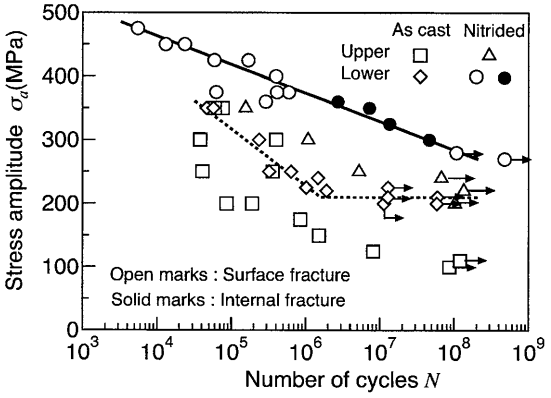
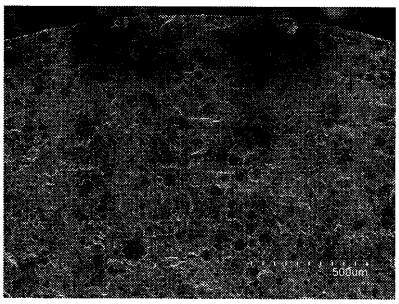


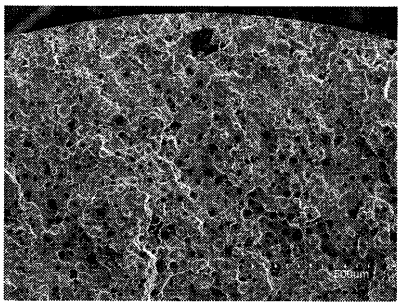
Fig.4 *S-N* curves.

次に，ラジカル窒化を施した場合，上部材では疲労強度の改善は著しく，10^8回疲労強度は鋳放し材に比べて2倍以上向上している．また，窒化材同士を比べると，上部材は下部材に迫る強度となっており，上部材に関してもラジカル窒化が有効であることがわかる．しかしながら有限寿命域においては上部材と下部材の強度差は大きく，低応力域では両者の差は大きくなっている．そこで，窒化材に関してもSEMによる破面観察を行った．

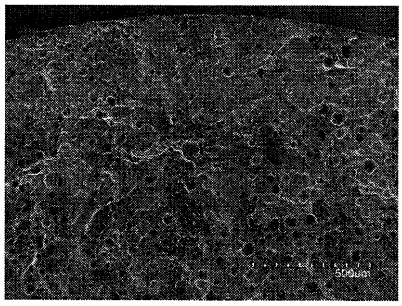
Fig.6にラジカル窒化を施した上部材と下部材の破断面を示す．ここで，Fig.6(a)，(b)は下部材，(c)，(d)は上部材であり，(a)と(c)，(b)と(d)はそれぞれ同程度の疲労寿命となっている．これより，上部材，下部材とも高応力域（(a)および(c)）ではいずれも表面近傍の異常黒鉛からき裂が発生しており，上部材の方が下部材に比べて存在する欠陥が大きいことがわかる．一方，低応力域（(b)および(d)）では下部材の破壊起点は表面近傍ではなく，表面から500μm程度内部に存在する引け巣であったのに対し，上部材では表面から200μm程度内部に大きめの異常黒鉛が見られるものの，表面近傍にそれよりも大きな異常黒鉛が存在しており，き裂は依然として表面から発生していた．これより，窒化材においても上部材の強度が低下したのは下部材に比べて欠陥が大きいことが原因であり，低応力側で両者の差が大きくなったのは欠陥サイズの差に加え，き裂の発生位置が異なるためと考えられる．　　＜結言，参考文献：省略＞



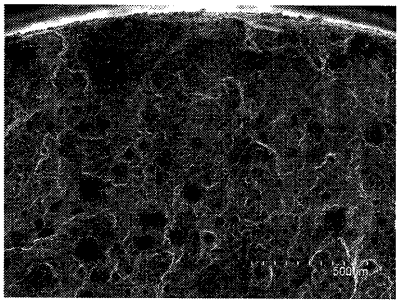
(a) Long life specimen (N_f=4.0x10^5)



(a) Lower (σ_a=425MPa, N_f=1.7x10^5)

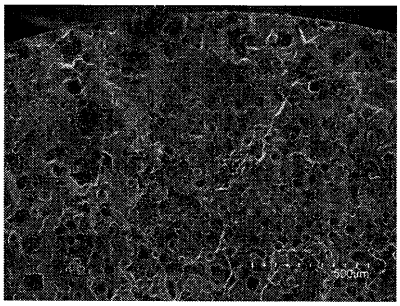


(b) Lower (σ_a=350MPa, N_f=7.2x10^6)

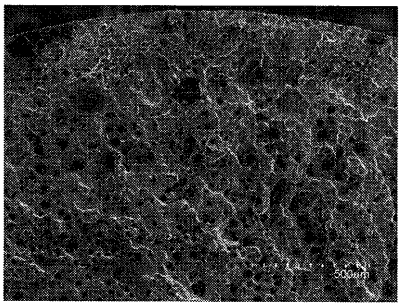


(b) Short life specimen (N_f=3.8x10^4)

Fig.5 Observation of fracture origin (Upper, As cast, σ_a=350MPa).



(c) Upper (σ_a=350MPa, N_f=1.6x10^5)



(d) Upper (σ_a=250MPa, N_f=5.3x10^6)

Fig.6 Observation of fracture origin (Nitrided).

NII-Electronic Library Service