

氏名（本籍）	福 山 邦 男（岐阜県）
学 位 の 種 類	博 士（工学）
学 位 記 番 号	甲 第 10 号
学位授与年月日	平成 7 年 3 月 24 日
専 攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	球状黒鉛鑄鉄の疲労特性に関する実験的研究
学位論文審査委員	（主査）教 授 丸 井 悦 男 （副査）教 授 藤 井 洋 教 授 戸 梶 恵 郎 助教授 長谷川 典 彦

### 論文内容の要旨

球状黒鉛鑄鉄は、黒鉛と基地組織から構成された複合材料で、基地組織の種類、黒鉛や微小鑄巣等の形態、大きさや数量等、疲労強度や疲労寿命に対する影響因子が多く、それらが互いに影響を及ぼし合っているため、他の金属材料と比較して、疲労強度特性が非常に複雑なものとなっている。また、鑄造ブロックにおいて凝固条件や冷却速度が部位によって異なり、そのため同一ブロック内であっても組織の違いや黒鉛、微小鑄巣等の分布のばらつきを生じていることが指摘されている。したがって、球状黒鉛鑄鉄の疲労強度の評価を適正にするためには、基地組織や黒鉛性状を定量的、統計的に把握し、それらを統一的・体系的に強度評価に組み入れることが不可欠である。

本研究では、フェライト（FDI）、フェライト／パーライト（FPDI）、パーライト（PDI）およびベイナイト（ADI）の4種の基地組織の球状黒鉛鑄鉄を用いて、疲労強度、疲労寿命分布特性、疲労き裂進展特性および疲労き裂源の種類、大きさ、位置等を調べ、鑄造Yブロックからの試験片採取位置の違いが疲労強度に及ぼす影響や基地組織と疲労寿命の分布特性の関係について統計的に検討している。

また、ADIの中高温における疲労限度、疲労き裂発生源の種類、位置等を調べ、疲労強度および疲労き裂発生挙動の温度依存性を調査している。さらに、各基地組織の静的強度と疲労強度の関係について検討するとともに、破面上で特定された疲労き裂源の種類、形状および位置を定量的に把握し、高強度鋼の微小欠陥の定量的評価を目的として提案された欠陥の $\sqrt{\text{area}_{\max}}$ （基地組織に分散する介在物のうち最大のものを最大主応力方向に投影した投影面積の平方根）と欠陥近傍のビッカース硬さをパラメータとした疲労限度予測式が、基地組織中に黒鉛や微小鑄巣等の介在物を含む球状黒鉛鑄鉄の疲労限度の予測に適用できるかどうかについても調べている。

第1章では、球状黒鉛鑄鉄の疲労強度に関する現在までの研究結果の現状と問題点について詳細に展望し、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章では、FDI、FPDI、PDIおよびADIの4種の基地組織を有する球状黒鉛鉄の疲労特性におよぼす鑄造Yブロックからの試験片採取位置及び基地組織の影響について調べ、FDI、FPDIでは、鑄造Yブロックからの試験片採取位置による疲労強度、疲労寿命に差異が存在し、下部から採取された試験片のほうが疲労強度が大きく、疲労寿命も長寿命であること、PDI、ADIでは疲労限度および疲労寿命とも、試験片採取位置による影響を受けないことを明らかにしている。また、球状黒鉛鉄の疲労強度の統計的性質を調べ、寿命分布特性に及ぼす基地組織の影響を調べた結果、FPDIおよびPDIは、疲労強度、そのばらつきともほぼ同程度の材料であるが、FDIは、疲労限度が低く、ばらつきが少ないのに対して、ADIは、疲労限度がかなり高く、ばらつきが大きいことを示している。さらに、球状黒鉛をき裂発生源とする疲労寿命を示すものは、FPDIを除いて、基地組織の硬さ値の高いものほど少なくなり、微小鑄巣をき裂源とするものが多くなる傾向のあることも明らかにしている。

第3章では、ADIについて、室温から400℃までの温度範囲で回転曲げ疲労試験を行い、疲労強度の温度依存性について調べ、ADIの中高温における疲労限度は、300℃付近で繰返しひずみ時効による顕著な極大現象を示すことを見い出している。また、この疲労限度が極大となる300℃以上の温度において、残留オーステナイトの変態に起因する基地組織の微細化および硬さの上昇を確認している。この温度への加熱により、炭化物の析出に関連したMs点の上昇となり、変態が生じやすくなるとともに、繰返し応力の影響により加工誘起変態も生じ、変態および微細化が完了する温度が、未変形領域に比べ、50℃ほど低下することを実験的に確認している。さらに、中高温における疲労破壊は、残留オーステナイトの変態および繰返しひずみ時効による表面の硬化に起因して、内部に存在する黒鉛や微小鑄巣からのき裂発生によるものが多くなることを明らかにしている。

第4章では、FDI、FPDI、PDIおよびADIの4種の基地組織を有する球状黒鉛鉄について、静的強度と疲労強度の関係について検討するとともに、破壊起点となった疲労き裂源の種類、大きさ、位置等が疲労寿命分布特性に及ぼす影響について調べ、FDI、FPDIの疲労き裂源は、球状黒鉛が全体の半数以上を占めているが、PDI、ADIでは、微小鑄巣が全体の半数を占め、実際にき裂源となった球状黒鉛は、試験片表面直下に存在する最大の黒鉛ではなく、平均粒径より若干大きめの球状黒鉛であることを見い出している。また、欠陥の $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ を用いた疲労限度予測式の適用の可能性について検討を行い、FDI、FPDIおよびPDIについては欠陥の $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ から高い精度で疲労限度を推定することができるが、ADIについては、加工誘起マルテンサイト変態による基地硬さの上昇を考慮して推定する必要があることを示した。

第5章は、結論で、以上の各章で明らかにされた結果を総括して述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、フェライト（FDI）、フェライト／パーライト（FPDI）、パーライト（PDI）およびベイナイト（ADI）の4種の基地組織の球状黒鉛鑄鉄をもつ鑄造Yブロックからの試験片採取位置の違いが疲労特性に及ぼす影響、疲労強度の統計的性質に及ぼす基地組織の影響およびADIの中高温における疲労強度および疲労き裂発生挙動の温度依存性について検討するとともに、球状黒鉛鑄鉄における静的強度と疲労強度の関係、き裂発生源となった黒鉛や微小鑄巣等の微小欠陥の $\sqrt{\text{area}}$ と疲労寿命の関係および疲労き裂発生源に及ぼす基地組織の影響について検討した結果をふまえ、黒鉛の $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$ からの疲労限度推定精度に及ぼす基地組織の影響について検討したものであり、得られた成果は次のとおりである。

- ① PDI、ADIでは、試験片採取位置の違いによる疲労特性への影響は認められないが、FDI、FPDIにおいて、鑄造Yブロックからの試験片採取位置が異なると疲労強度、疲労寿命ともに差異が認められ、下部から採取された試験片のほうが疲労強度が大きく、疲労寿命も長いことを示している。また、上述の4種類の基地組織を有する球状黒鉛鑄鉄の破壊起点となった疲労き裂源の種類、疲労き裂の発生進展挙動およびP-S-N特性を調べ、統計的疲労特性に及ぼす基地組織の影響を明らかにしている。
- ② ADIの中高温における疲労限度は、300℃付近で繰返しひずみ時効により極大になる現象を見い出している。また、中高温における疲労破壊は、残留オーステナイトの変態および繰返しひずみ時効による表面の硬化に起因して、内部に存在する黒鉛や微小鑄巣からのき裂発生によるものが多くなることを明らかにしている。
- ③ FDI、FPDIの疲労き裂源は球状黒鉛が全体の半数以上を占めている。PDI、ADIでは、微小鑄巣が全体の半数を占め、実際にき裂源となる球状黒鉛は試験片の表面直下に存在する最大の黒鉛ではなく、平均粒径より若干大きめの球状黒鉛であることを示している。また、欠陥の $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$ を用いた疲労限度予測式の適用の可能性について検討し、FDI、FPDIおよびPDIにおける欠陥の $\sqrt{\text{area}}_{\text{max}}$ から高い精度で疲労限度が推定できるが、ADIについては加工誘起マルテンサイト変態による基地硬さの上昇を考慮して推定する必要があることを明らかにしている。

以上要するに、本論文は球状黒鉛鑄鉄の疲労特性に及ぼす基地組織や黒鉛性状の影響について定量的、統計的な手法を用いて詳細な検討を行い、さらに疲労強

度の温度依存性や欠陥の $\sqrt{\text{area}_{\text{max}}}$ からの疲労限度予測精度について検討を行うなど球状黒鉛鑄鉄の疲労特性に関して多くの知見を得たものであり、学術上、實際上寄与することが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学術論文として価値あるものと認める。