

(論文内容の要旨)

本論文は、核分裂炉の炉心構造物や発電を目指す核融合炉ブランケット・システムの最適化を目的とした第一壁・ブランケット構造物への適用が有望視されている低放射化鉄鋼材料の研究に関するものであり、微細組織の挙動解析により低放射化鉄鋼の疲労破壊メカニズムの解明を目指したものであり、本論文は全7章からなっている。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べている。

第2章では、低放射化鉄鋼材料に関する基礎として、材料工学研究・開発活動の経緯をまとめている。特に、核融合炉ブランケットの設計や総合特性評価において不可欠である低サイクル疲労特性と照射効果について整理し、本研究の方針について言及している。次いで、学問的背景として、金属材料における一般的な疲労破壊に関する現象論および機構論の現状について述べている。

第3章では、低放射化鉄鋼における低サイクル疲労挙動について述べている。低放射化鉄鋼の疲労特性について、断片的な寿命評価だけではなく、微細組織の変化に注目し、現象論的/機構論的な解析を行っている。その解析によって、疲労の蓄積より形成された突き出しと入り込み損傷が、応力集中の原因となり、亀裂の発生起点となることを実験的に明示している。また、低サイクル疲労破壊機構に影響を及ぼす因子を微小欠陥問題と捉えることによって介在物と亀裂の形成・伝播の相関を説明し、Ta酸化物を含む粗大な複合介在物が低放射化鉄鋼の疲労寿命を支配する因子であることを解明している。さらに、エレクトロスラグ再溶解処理による高纯净鋼の必要性を疲労特性の面から初めて明らかにしている。

第4章では、溶接継手材の低サイクル疲労特性について述べている。核融合炉のような気密を要する構造物の接合に用いられる溶接に関して、溶接部の熱履歴を考慮した、微細組織の評価と繰返し負荷に伴い溶接部の各組織の疲労損傷について検討を行っている。HAZ部がEB溶接と比べて大きくなるTIG溶接継手においては、疲労変形がHAZ部に集中し疲労特性を劣化させる可能性があり、構造物の溶接継ぎ手設計において十分な考慮が必要であることを指摘している。

第5章では、微小試験片による低サイクル疲労特性評価について述べ、微小試験法の妥当性を実証している。また、試験片の微小化に伴う材料因子の影響について、試験片の表面粗さの影響を明らかにしている。特に、加工欠陥が疲労亀裂の起点となり、低サイクル疲労寿命に大きな影響を与える問題を定量的に解析し、表面欠陥の疲労寿命への影響を予測する手法を提案している。この成果に基づき、国際核融合実験装置のテストブランケットモジュール(ITER-TBM)用冷却管の寿命予測では要素部材の設計/製作条件を十分に考慮する必要があることを指摘している。

第6章では、微小試験片による低サイクル疲労特性評価手法を活かし、低放射化鉄鋼の低サイクル疲労特性に及ぼす中性子照射の影響を解明している。歪み制御疲労試験では、中性子照射により導入された照射欠陥及び欠陥集合体が低サイクル疲労進展下での転位の再配列を促進させることで顕著な疲労軟化挙動をもたらし、疲労寿命を著しく低下させることを明らかにしている。

第7章は、本論文の成果をまとめ、総括としている。

氏名	金東賢
----	-----

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、核分裂炉の炉心構造物や発電を目指す核融合炉ブランケット・システムの最適化を目的とした第一壁・ブランケット構造物への適用が有望視されている低放射化鉄鋼材料の研究に関するものであり、疲労特性に及ぼす材料因子及び照射効果に関する成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

本研究は、(1) 微細組織の挙動解析により低放射化鉄鋼の疲労破壊メカニズムの解明、(2) 溶接継手材の低サイクル疲労挙動の解明、(3) 疲労挙動特性に及ぼす中性子照射効果の解明、に大別される。まず、低放射化鉄鋼材料の疲労破壊メカニズムを支配する因子として介在物に着目し、これらを微小欠陥問題と捉えることによって介在物の影響の解明を行っている。試験片の表面に分布している介在物は、疲労亀裂発生の起点となり、疲労寿命の劣化原因となる。一方、材料中に分布している介在物は、3次元欠陥として亀裂の進展方向を決める因子と成ること、特に Ta 酸化物を含む粗大な複合介在物が低放射化鉄鋼の疲労寿命を支配する因子であることを解明した。また、エレクトロスラグ再溶解処理による高纯净鋼の必要性を疲労特性の面から初めて明らかにした。次に、低サイクル疲労特性に及ぼす試験片の表面状態の影響に着目し、表面粗さを制御した様々な種類の微小試験片を用いてその効果の解明を行い、国際核融合実験装置 (ITER) のテストブランケットモジュール (TBM) 用冷却管の寿命を表面粗さの観点から予測し、要素部材の設計/製作に対する方針を提案した。これらを通じて、低放射化鉄鋼材料における低サイクル疲労挙動特性評価法を提案し、その技術基盤から低サイクル疲労挙動特性と材料因子の相関を系統的に整理した。次に、核融合炉のような気密を要する構造体の接合に用いられる溶接に関して、溶接部の熱履歴を考慮した、微細組織の評価と溶接部の各組織の疲労損傷について検討を行い、HAZ 部が EB 溶接と比べて大きくなる TIG 溶接継手においては、疲労変形が HAZ 部に集中し疲労特性を劣化させる可能性があり、構造物の溶接継ぎ手設計において十分な考慮が必要であることを指摘した。最後に、これまでは誘導放射化や複雑な照射損傷組織の形成により解析がほとんどなされていなかった低サイクル疲労挙動に及ぼす中性子照射の影響について初めて体系的に述べており、中性子照射により導入された照射欠陥及び欠陥集合体が低サイクル疲労進展下での転位の再配列を促進させることで顕著な疲労軟化挙動をもたらし、疲労寿命を著しく低下させることを明らかとした。本研究の成果は、先進ブランケット・システム設計活動に還元され、その最適化に貢献し、核融合エネルギー発電の早期実現化に寄与すると期待される。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 20 年 08 月 21 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。