

氏名	かさ だ りゅう た 笠 田 竜 太
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第33号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻
学位論文題目	核融合炉構造材料低放射化マルテンサイト鋼における複合・変動照射効果に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 木村晃彦 教授 井上信幸 教授 香山 晃

論 文 内 容 の 要 旨

低放射化マルテンサイト鋼は、核融合炉構造材料に課せられている要件を最も高い確実性をもって満たすと期待されており、我国においては、開発優先順位の最も高い、第一候補材料として位置付けられている。核融合炉構造材料の照射効果に関する従来の研究においては、照射条件を単純化した定常照射による材料特性変化の研究が中心的であり、実際の核融合炉において予測されている温度変動照射効果や核変換効果等に代表される、非定常照射環境の影響については、不明な点が数多く残されている。本論文では、核融合炉の定常運転下のみならず、非定常運転に対応した照射条件の変動および複合条件下における低放射化マルテンサイト鋼の材料挙動変化についてまとめたもので、8章からなっている。

第1章は序論であり、第2章は実験方法について述べている。

第3章では、低放射化マルテンサイト鋼の材料特性に与える核変換 He の影響に関連し、照射硬化・脆化に及ぼす Ni 添加効果について調べ、従来の He 脆化研究における問題点を指摘した。すなわち、従来の研究において用いられている Ni 添加法においては、Ni が自己格子間原子と強い相互作用を持つため、照射硬化の主要因子と考えられる転位ループの形成挙動に影響を与え、Ni 添加そのものに起因した著しい脆化を引き起こすことから、He 脆化の評価における Ni 添加法の限界を明確に示した。また、低放射化マルテンサイト鋼における照射硬化の照射量・温度依存性を明らかにするとともに、陽電子寿命測定を行うことにより、空孔型欠陥集合体の挙動を調べ、それらによる照射硬化への寄与の小さいことを示した。

第4章では、照射脆化に及ぼす He の影響を明らかにするため、加速器による注入法と微小試験片技術を用いて、従来に無い高濃度 (580appm) の He が存在する状態での He 効果について世界に先駆け調べ、低放射化マルテンサイト鋼が耐 He 脆化特性に優れていることを示した。また、He 注入後の昇温 He 脱離挙動、微細組織観察および陽電子寿命測定を行い、当該鋼の優れた耐 He 脆化特性が、マルテンサイト組織に含まれる多数の転位やラス境界における He および点欠陥の捕獲に伴う、損傷組織発達の抑制によることを明らかにした。

第5章では、実際の核融合炉環境下において予測される炉の起動時における照射温度の変化に起因する損傷組織発達挙動の変化を調べるため、低放射化マルテンサイト鋼における温度変動照射、すなわち、低温から高温へのステップ状温度変動照射およびその繰り返しによる交番照射を行い、温度変動照射下における点欠陥集合・離散過程と機械的特性変化との相関を調べることにより、損傷組織発達の素過程に関する重要な知見が得られた。また、この研究から当該鋼においては、他の材料で報告されているような温度変動照射に特有の特性変化の生じにくいことを明らかにした。

第6章では、低放射化マルテンサイト鋼の相安定性に及ぼす中性子照射 (40dpa) の影響を調べ、当該鋼における主要な炭化物である $M_{23}C_6$ の相安定性が中性子照射下においても優れており、かつ、材料劣化を引き起こすとされている Laves 相の析出の促進も認められないことから、低放射化マルテンサイト鋼が優れた相安定性を示すことを明らかにした。

第7章では、第6章までの実験結果に基づいて、照射硬化の照射量依存性や温度変動照射効果における格子間原子集合体と空孔集合体の役割を明らかにするために、反応速度論を用いた損傷組織発達のモデルを構築して、複合・変動照射下にお

ける点欠陥挙動とそれに伴う材料特性変化のシミュレーションを試みた結果、照射実験から推測される格子間原子型転位ループとマイクロボイドの照射硬化への寄与を再現することに成功した。

第8章は、総括である。

論文審査の結果の要旨

本論文では、核融合炉の定常運転下のみならず、非定常運転に対応した照射条件の変動および複合条件下における低放射化マルテンサイト鋼の材料挙動変化を明らかにすることを目的としており、以下のような成果が得られている。

1) 研究者間で著しく見解の異なっている低放射化マルテンサイト鋼の材料特性に及ぼす核変換 He の影響について調べ、従来の研究において用いられている Ni からの核変換ヘリウムを利用した Ni 添加法においては、Ni が自己格子間原子と強い相互作用を持つため、照射硬化の主要因子と考えられる格子間型転位ループの形成挙動に影響を与え、Ni 添加そのものに起因した著しい脆化を引き起こすことから、He 脆化の評価における Ni 添加法の限界を明確に示した。

2) 照射脆化に及ぼす He の影響を明らかにするため、加速器による注入法と微小試験片技術を用いて、従来に無い高濃度 (580appm) の He が存在する状態での He 効果を世界に先駆けて調べ、低放射化マルテンサイト鋼が耐 He 脆化特性に優れていることを示し、これが、マルテンサイト組織に含まれる多数の転位やラス境界における He および点欠陥の捕獲に伴う、損傷組織発達の抑制によることを明らかにした。

3) 低放射化マルテンサイト鋼の照射硬化に及ぼす温度変動照射の影響と照射硬化因子に関する研究では、新たに開発された多段多分割型温度制御照射によって多岐にわたる照射条件での中性子照射を行い、微細組織と強度特性の相関に及ぼす照射温度履歴の影響を明らかにし、その材料挙動シミュレーションに成功した。

4) 低放射化マルテンサイト鋼の使用限界を決定する劣化因子のひとつである照射硬化と、空孔集合体形成挙動の相関について詳細に調べ、一定温度照射に加え、複合・変動照射下における点欠陥挙動とそれに伴う材料特性変化を模擬するための損傷組織形成素過程のモデリングを行い、微小格子間型転位ループ発達の過程や照射硬化挙動に及ぼす空孔集合体の熱的安定性の影響を明らかにした。

これらの成果は、非定常照射実験を行うことにより、はじめて得られたものであり、低放射化マルテンサイト鋼の核融合炉実環境下での挙動を予測するための照射相関論の構築にも極めて有益な基礎的知見を提供している。

以上要するに、本研究は、低放射化マルテンサイト鋼の核融合模擬環境下における材料挙動に関する基礎的知見を与えるものであり、原子力エネルギーの高効率利用ならびにエネルギー科学に寄与するところが少なくない。

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13年2月5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。