

氏 名	安 堂 正 己
学位(専攻分野)	博 士 (エネルギー科学)
学 位 記 番 号	エ ネ 博 第 16 号
学位授与の日付	平成 12 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応用科学専攻
学位論文題目	金属材料の塑性変形挙動に対する照射効果の研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 香 山 晃 教 授 山 崎 鉄 夫 教 授 木 村 晃 彦

論 文 内 容 の 要 旨

軽水炉、先進核分裂炉や核融合炉用の構造材料において、中性子照射による延性低下を始めとする強度特性劣化は、安全性・経済性等を決定する重要な要素となる。本論文はイオン照射法、微小領域強度特性評価法及びマイクロ組織解析法を組合せることにより、中性子照射損傷に関わる金属材料の特性劣化（照射誘起強度特性変化：RIMPC）について、特に照射硬化及び延性劣化の機構の解明について、論じた結果をまとめたもので、序論、総括を含め6章からなっている。

第1章は序論で、本研究の背景と研究目的について述べている。

第2章では、先ず過去に行われてきた中性子照射されたオーステナイト系鉄鋼材料の強度特性変化に関する研究について概説している。そこにおいて、RIMPCが主として形成される多様な照射欠陥と変形に関わる迂り転位との相互作用についての現象論的な理解で説明されており、その物理機構の解明が極めて遅れていることを指摘している。さらにRIMPCを評価するための手法として、照射研究で用いられる微小試験片による強度特性評価法を概説し、本研究での主題の一つである押込み試験法について説明し、微小体積によって強度評価を可能にする超微小押込み挙動の解析に関わる従来の研究手法の問題点を指摘している。

第3章では、RIMPCに関わる多様な照射欠陥と迂り転位との相互作用についての理解を得るために、照射条件を高精度に制御可能であるイオン照射実験法を利用することが極めて有効な手法であることを示した。また、超微小押込み試験法を用いて微小体積による硬さ変化を定量的に評価するための解析法の高度化を達成し、従来不可能とされていたイオン照射法による照射誘起強度特性変化を実現した過程が示された。さらにこれらに基づき、オーステナイト系ステンレスモデル合金を対象としてイオン照射実験を行い、十分な制御下において導入された欠陥組織による強度特性変化の指標として超微小押込み試験による硬度評価を、マイクロ組織との対応の下で行う事を初めて実現させた。本実験結果と分散硬化モデルによる硬化量の比較を行った結果、微小なフランク転位ループ組織及び多様なキャビティ組織において、従来原子炉照射試験を通じて提案されてきたモデルによる評価が不適切となる場合のある事を示し、照射欠陥のRIMPCへの寄与を形態別に分離して評価出来る事を示した。

第4章では、様々な照射欠陥が超微小押込み試験により導入される塑性変形にどのような影響を及ぼすのかについて検討するための技術開発を行った。即ち、ナノメートルオーダーの局所微小領域の加工が可能な集束イオンビーム微小領域加工法と透過電子顕微鏡法を組合せ、超微小押込み試験により形成される超微小な塑性変形領域における微細組織の観察手法を確立した。この手法を用いて、始めにモデル合金の単結晶試験片内に超微小押込みによって導入された変形に関わる転位組織の詳細を解析し、三角錐圧子押込み過程における変形過程の詳細な3次元描像に成功した。次いで、多結晶試料への応用を行い、粒界の影響や結晶方位の影響等についても検討を加えている。

第5章では、第3章により提起された問題点についての機構解明を行うため、第4章で確立した手法を用いて、照射欠陥組織としてフランク転位ループとキャビティを導入したイオン照射試験片における塑性変形の3次元観察及び解析を行った。その結果、フランク転位ループと塑性変形に伴う迂り転位との相互作用の様式が、そのサイズに依存してある臨界径を

境に異なり、微小なフランク転位ループと迂り転位との相互作用が照射誘起塑性不安定性の直接的な原因となる可能性を指摘した。キャビティ組織-迂り転位相互作用に関しては、キャビティによる強度上昇が迂り転位のせん断抵抗である根拠を示したことに加えて、押込み試験における塑性変形の定量的描像に成功し、従来原子炉照射実験から得られているキャビティの塑性変形抵抗強度が、キャビティ近傍への偏析及び析出の寄与を分離できなかったことによる誤りであると結論づけた。これらの成果は、照射損傷組織と塑性変形の相互作用に関して新しく且つ重要な知見を提供した。

第6章では、本論文の成果をまとめ、総括としている。

論文審査の結果の要旨

軽水炉、先進核分裂炉や核融合炉用の構造材料において、中性子照射による延性低下を始めとする強度特性劣化は、安全性・経済性等を決定する重要な要素となる。本論文はイオン照射法、微小領域強度特性評価法及びマイクロ組織解析法を組合せることにより、中性子照射損傷に関わる金属材料の特性劣化（照射誘起強度特性変化：RIMPC）について、特に照射硬化及び延性劣化の機構の解明について、論じた結果をまとめたもので主な成果は次のとおりである。

1. 超微小押込み試験法によるイオン照射試料の硬さプロファイルの定量測定法を開発した。これによって、従来不可能であったイオン照射試料の照射誘起硬さ変化を高い信頼性を以って定量的に評価することを可能とした。

2. 集束イオンビーム微小領域精密加工法の応用により、超微小押込み試験法によって導入された超微小な塑性変形領域を任意の方向から観察する為の電子顕微鏡観察用薄膜試料の作製手法を確立した。単結晶試料を対象とした観察結果から、変形組織の詳細な3次元キャラクタリゼーションを行い、変形組織の構造及び形状に関する押込み深さ依存性の大要を明らかにした。この手法は多結晶試料へも応用され結果の一般性付与に活かされた。

3. 低温照射下で形成される微小なフランク転位ループの反応断面積はそれらの実サイズを大きく超えることを見出し、フランク転位ループの持つ周辺歪み場が変形抵抗となることを明らかにした。微細フランク転位ループは、冷間加工材の降伏応力を超える著しい硬化をもたらすが強い歪み場の相互作用により消滅すること証拠を示し、これらが照射誘起塑性不安定性の主たる原因となる可能性を指摘した。

4. イオン照射で形成される顕著な偏析を伴わないキャビティは強い変形とはならないこと、また強変形領域内のキャビティは多数の迂り転位の横断の痕跡を示す一方でOrowanのバイパス機構の痕跡が認められないことを示した。これらの結果から、従来原子炉照射実験から経験的に得られていたキャビティの塑性変形抵抗係数は誤りであることを指摘した。

以上のように、本研究は照射損傷組織を有する金属材料における塑性変形挙動の解明の上で学術上の重要な貢献を果たし、さらに今後の幅広い発展の可能性を示すものと評価される。また本研究における主要な技術開発は世界に先駆けて達成されたものであり、関連する研究活動全般への寄与も顕著である。

よって、本論文は博士（エネルギー科学）の学位論文として十分な学術的価値を有するものと認める。また、平成12年2月15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。