

氏名	柳田誠也
学位(専攻分野)	博士(工学)
学位記番号	工博第1937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	工学研究科機械物理工学専攻
学位論文題目	Fe-Cu合金の中性子照射効果における損傷速度依存性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 義家敏正 教授 大谷隆一 教授 長村光造

論文内容の要旨

高エネルギー粒子の照射下で使用される原子力材料開発のためには材料の照射試験が必要である。実機で長期間使用される材料の場合、使用される環境より強い照射場で短期間照射する加速照射試験が行われている。しかし加速照射の妥当性については明らかではない。本論文は発電用原子炉の寿命を決定する重要な構成機器である原子炉圧力容器材料のモデル合金である鉄-銅合金(銅濃度 0.6 wt%以下)を用いて、中性子損傷速度と材料のマイクロ組織発達及び機械的性質変化との関係に関する一連の研究結果をまとめたものであり、以下の6章から構成されている。

第1章は序論であり、原子炉圧力容器に用いられる材料、それが受ける中性子照射の特徴と材料性質の変化についてまず概説し、次に鉄中に含まれる銅原子の挙動について、さらに加速試験と損傷速度依存性についての過去の研究の問題点を論じ本研究の目的を述べている。

第2章では材料物性の損傷速度依存性を解明するために行われた中性子照射実験の方法及びその結果を詳述している。中性子照射は京都大学研究用原子炉(KUR)を用いて0.005 dpaまでの損傷量で損傷速度を最高130倍変えて行い、照射前後の硬さ試験の結果から、損傷速度が遅いほど硬さ変化が大きくなることを見出している。また銅濃度の増加とともに硬さ変化が大きくなることから、硬さ変化は銅の析出に起因していること及び損傷速度が遅いと析出が促進されることを明らかにしている。陽電子消滅寿命の測定からは、低損傷速度の方がより大きな原子空孔集合体を形成するとの結果を得ている。機械的性質に明確な変化がみられたにもかかわらず、透過型電子顕微鏡では照射欠陥が観察されていない。しかし、アトムプローブ電解イオン顕微鏡(APFIM)では、直径5 nm程度の回転楕円体状の銅クラスターを観察している。クラスター濃度は高く、機械的性質変化の主要因と考えられ、その合計の体積は低損傷速度の方が大きく、機械的性質変化から示唆される傾向とも一致することを示している。

第3章はKURにおいてデータがなかった2つの照射場における中性子スペクトルの測定方法とその結果について記述している。得られたデータから各照射場における材料の損傷速度を求め、実験データの評価に用いている。

第4章では鉄-銅合金の照射下での二次欠陥形成に損傷速度が及ぼす効果を、反応速度論に基づいたモデルを構築して解析している。その結果、格子間原子型転位ループ・ボイドに関しては同一照射量において損傷速度が遅いほど核形成は促進されるが成長は抑制されること、銅クラスターについては損傷速度が遅いほど核形成・成長ともに促進され降伏応力変化への寄与が大きくなること、銅クラスターの平均半径の計算結果からはクラスターは母相と整合性を持つと考えられるため降伏応力を計算する場合OrowanモデルよりRussel-Brownモデルを適用する方が適当であること、Russel-Brownモデルを用いて降伏応力変化を見積もったところ損傷速度が 10^{-8} dpa/sec付近を挟んで降伏応力変化の主要因が変わること等の結果を得ている。

第5章は損傷構造発達に及ぼす中性子スペクトルの効果を検討したものである。本研究に用いた照射場においては、中性子スペクトルの違いは損傷速度の効果を減少させる方向に働くことを見出し、損傷速度依存性は実験結果以上にあることを明らかにしている。

第6章では以上を総括し、本論文の成果をまとめるとともに、今後の課題と展望を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、材料の照射劣化に及ぼす中性子の損傷速度の影響を、原子炉压力容器に使用されている低合金鋼のモデル合金を用いて、実験的・理論的に研究したもので、得られた主な成果は次の通りである。

1. 損傷速度が最高130倍異なる京都大学研究用原子炉(KUR)の3種類の照射場を用いて、鉄-銅合金(銅濃度0.6wt%以下)のほぼ同一損傷量(最高0.005 dpaまで)の中性子照射を行った。いずれの照射でも、照射欠陥は透過型電子顕微鏡では観察されなかったが、陽電子寿命測定ではマイクロボイドの存在を、アトムプローブ電界イオン顕微鏡では回転楕円体状の銅クラスターの存在を確認した。

2. 損傷速度が速いほどマイクロボイド及び銅クラスターのサイズが小さく、材料の照射前後の硬さ変化も小さいこと、照射初期から析出が起きていること、マイクロボイドの近傍に析出し易くそのためにマイクロボイドの熱的安定性が増すこと等を実験的に明らかにした。

3. 照射下における点欠陥集合体の形成機構を反応速度論に基づいたモデルを構築して解析した。その結果、二次欠陥の生成・成長が損傷速度に依存する原因は照射下で存在する自由点欠陥量と密接に関係していることを見出した。さらに、照射欠陥の材料強度特性への寄与についても定量的に評価した。

以上要するに、本論文は原子力材料の照射試験で行われている加速照射の問題点を解明するために、材料の損傷構造発達や機械的性質変化の損傷速度依存性に関する基本的な知見を得たものであり、その成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は、博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年2月8日、論文内容とそれに関連した試問を行った結果、合格と認めた。