

審査の結果の要旨

論文題目 ハフニウムの集合組織およびイオン照射微細組織に関する研究

論文提出者 三原 武

本論文は、軽水炉の制御棒において中性子吸収材として利用されるハフニウム (Hf) 板型制御棒の中性子照射環境下での振る舞いを対象としている。実機で使用されたHf板型制御棒では、しきい線量 4.4×10^{21} n/cm²以上の中性子照射を受けた場合、ステンレス鋼製シース部に照射誘起応力腐食割れによるひびが発生する事例が相次いで確認され、そのひびをもたらし応力源として、Hf板の照射成長が挙げられた。しかしながら、Hf材料の照射成長および照射損傷組織に関する知見は極めて限られていることから、本研究では、燃料棒の安全技術開発に資するため、Hfの冷間加工および熱処理による集合組織の形成過程を明らかにし、さらに照射に伴い導入される格子欠陥の性状同定と照射損傷蓄積過程を明確にすることを目的としている。

本論文は8章で構成されており、第1章は上記の研究の背景と目的をとりまとめている。第2章は、制御棒の安全性と照射成長評価の工学的評価の意義を明らかにすることともに、制御棒のひび発生における解決すべき課題と想定しうるメカニズムを俯瞰的に論じている。

第3章では照射成長現象について、ジルコニウム (Zr) 合金での知見を整理するとともに、Hfにおける課題を整理している。

第4章は、本研究において実施した実験の詳細を論じており、Hf試料の準備並びにイオン照射試験の条件設定をとりまとめるとともに、集合組織試験の最新手法の適用に関して詳細に論じている。

第5章は、イオン照射実験によるHfの照射組織挙動を論じている。特に転位ループの性状を詳細に評価した結果、 $b=1/3$, $1/3$ を持つ格子間原子型転位ループが多数占めることを明らかにし、10 dpaまでにネットワーク転位へ成長することを明らかにしている。また転位の回復試験を実施して、Zrとの類似性を議論している。さらに高い照射量までの試験を実施して、20 dpa以上では詳細な透過電子顕微鏡観察によって、バーガースペクトルにc成分を有する転位ループが形成することを見いだすことに成功した。このタイプのループ形成が起こりうることは、Hfの照射成長の照射量依存性がある閾値から大きな増加を示す可能性を示唆している。また、Zr系の各種材料と比較することによって、c成分転位ループが形成するメカニズムについて、議論を行っている。

第6章は、加工によるHfの集合組織形成と再結晶化挙動について、圧延加工後の等時焼鈍実験の硬さ測定、XRDおよび光学顕微鏡観察等による詳細な実験に基づいた結果をとりまとめられている。20 %冷間圧延したHf板材の場合、六方晶の(0002)底面が圧延面垂直方向から圧延方向周りに約30° 傾斜した集合組織を形成する。873Kまで焼鈍では、欠陥の回復に伴い単調に軟化する一方で、873K~1173Kの領域では、転位が合体集し転位ループを形成、粗大化して、硬化が起こりうることを見いだしている。また再結晶粒形成および粗大化による軟化現象は、1173 K以上の温度で起こることを明らかにした。さらに極点図の解析からは、焼鈍時間経過とともにc軸周りの20~40°の回転を伴いながら方位が変化することを明らかにしている。この結果は、結晶方位の回転は再結晶化に伴う変形双晶の回復による回転と、すべりの回復にともなう回転の二通りに分けて考えることができるとしており、始めてHfにおいて双晶変形とすべり変形の二通りの再結晶に伴う回転があることが示唆されている。

第7章はこれらの実験結果を総括して、板型制御棒のひび発生の機構を定量的にとりまと

めている。

第8章は結論であり、本研究の成果を総括するとともに、今後への課題を整理している。

以上を要するに本論文は、本格的な研究が極めて限られていたHfの制御棒としての挙動評価に必要な照射成長評価について、マイクロ組織発達並びに集合組織形成の双方の観点から基盤的知見を明らかにすることに成功しており、原子炉材料工学に寄与するところが少なくない。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として、合格であると認められる。