

審査の結果の要旨

氏名 阿部 秀明

国内総発電量の約3分の1を占める原子力発電は、CO₂排出量が極めて低い等の特徴があり、今後ますます世界的に重要なエネルギー供給源となることが期待されている。また原子力発電には、安全性の確保、放射性廃棄物の削減、および発電コストの低減が今後の課題として上げられるが、いずれにも原子力発電用核燃料が深く関わっている。軽水炉用核燃料の寿命は数年であり、交換年数の長短が廃棄物の発生やコストに関連する。核燃料の寿命延長における大きな課題が、燃料を被覆する燃料被覆管の健全性の確保である。燃料被覆管には現在ジルコニウム合金が利用されており、1980年代より核燃料の超寿命化を目指して燃料被覆管の性能向上、具体的には、耐応力腐食割れ性（耐 SCC 性）と耐食性の向上がはかられてきた。応力腐食割れは、核分裂にて発生するヨウ素の腐食環境下で燃料被覆管が核燃料ペレットから受ける内圧による割れであり、高温水に曝される燃料被覆管外表面での腐食としては、特に軽水炉ではノジュラー腐食と呼ばれる白色結節状の酸化が問題となっている。

核燃料被覆管であるジルコニウム合金管は、真空溶解によるインゴット製造、熱間鍛造、熱間押し出しにより成形された素管を、焼鈍と冷間加工とを繰り返して薄肉化縮径および延伸することによって製造される。ここでの冷間加工には、圧縮変形を基本としているため加工性が悪い高合金管の高加工度での製造に適した、ピルガ圧延が利用される。この工程は、燃料被覆管の性能および品質に大きく影響するため、本論文では、燃料の超寿命化を目指し、ジルコニウム合金管の冷間加工技術について、検討を行った。論文は7章によって構成されている。

第1章は序論であり、研究の背景と目的について述べている。第2章では、冷間ピルガ圧延時のジルコニウム合金管の集合組織形成についてまとめた。ジルコニウム合金は α 相で稠密六方晶となり、冷間加工中によって多様な異方性を発現する。この異方性すなわち集合組織の発達は、従来はQ値（＝肉厚加工度／径加工度）によって論じられてきたが、本研究ではさらに断面減少率の影響が大きいこと、形成された集合組織は焼鈍後も残留すること、新しいパラメータとして局所塑性ひずみ比を半径方向ひずみの円周方向ひずみに対する比として定義し、このパラメータによって集合組織形成の過程を予測し示すことを示した。第3章はジルコニウムライナ管（二重管）の冷間加工性、具体的には内面しわの抑制についての検討し、適切な製造条件を見出した。第4章は、ジルコニウム合金管の熱処理についての研究である。熱処理についての基礎的な研究の成果を踏まえ、全肉厚熱処理と表面熱処理の双方に利用できる高周波熱処理装置を新たに開発し、この熱処理を行った素管から製造した燃料被覆管では耐食性（耐ノジュラー腐食性）が向上することを示した。第5章は、冷間加工性を評価するために考案した、

円柱試験片による圧縮試験法について述べている。第6章は、ここまでの研究成果を踏まえた高加工度圧延法の研究である。適正な工具と圧延スケジュールを選定することで、減面率が90%を超える高加工度圧延を実現し、さらにこの製造工程を経ることで最終製品の結晶粒が微細化され機械的特性が向上することが示された。第7章は総括であり、研究成果をまとめ、他の稠密六方晶系難加工材料への適用など、本論文の波及効果について述べた。

以上に述べたとおり本研究は、原子力発電用燃料の長寿命化に関連した冷間加工技術について、加工プロセスと材料の両面から論じたもので、今後の原子力発電の進展に寄与する点で工業的な価値は高い。また、稠密六方晶の加工における集合組織形成過程やその冷間加工性および評価試験法などについて論じていること、さらに本論文の内容が、5編の原著論文(内4編は英文)として公表されていることは、工学的にも高く評価できる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。