

事故耐性の高い軽水炉用制御棒の開発 (8) 鋳込み成形による長寿命型中性子吸収材の特性評価

Development of accident tolerant control rod

(8) Characterization of long-life neutron absorbers manufactured by slip casting method

*中村勤也, 太田宏一, 樽見直樹

電中研

制御棒の長寿命化による廃棄物発生量の低減と事故耐性の向上が期待される新型中性子吸収材 ($\text{MO}_2\text{-RE}_2\text{O}_3$ 固溶体、 $\text{M} = \text{Zr}$ または Hf 、 $\text{RE} = \text{Eu}$ または Sm) を鋳込み成形により製造し、中性子吸収材の特性を調べた。
キーワード：事故耐性制御棒、中性子吸収材、希土類元素、長寿命、鋳込み成形

1. 緒言

電中研は、現行制御棒の中性子吸収材 (Ag-In-Cd 合金または B_4C) を $\text{MO}_2\text{-RE}_2\text{O}_3$ 固溶体 ($\text{M} = \text{Zr}$ または Hf 、 $\text{RE} = \text{Eu}$ または Sm) に置き換える事故耐性制御棒 (ATCR: Accident Tolerant Control Rod) を開発している^[1-2]。ATCRは、通常運転時には堅牢性の向上と長寿命化による廃棄物発生量の低減をもたらすとともに、事故時には制御棒の損傷に起因する早期炉心損傷リスクの低減が期待される。現在、海外 BWR では、ブレードの横孔に B_4C 焼結ピンを挿入する制御棒 CR99TM が運用されており、照射スウェリングを考慮した焼結ピンや横孔の形状が最適化されている^[3-4]。本研究では、自己遮蔽によって中性子吸収効果が期待できない中央部を排除することで、原料や廃棄物発生量の削減が期待される中空ペレット形状を対象に、複雑形状品の成形が可能で設備費が安価な鋳込み成形を用いて製造した長寿命型中性子吸収材の特性を調べた。

2. 試験方法

中空ペレット形状の $\text{MO}_2\text{-RE}_2\text{O}_3$ 固溶体を鋳込み成形法で製造することを試みた。原料粉末 ($\text{ZrO}_2 > 99\%$ (HfO_2 含む)、 $\text{HfO}_2 > 99\%$ (ZrO_2 含む)、 $\text{Eu}_2\text{O}_3 > 99.9\%$ 、 $\text{Sm}_2\text{O}_3 > 99.9\%$) をそれぞれ目開き $45\mu\text{m}$ のふるい分け後に粉碎し、再度ふるい分けした。所定量の原料粉末を ZrO_2 ボールとともにエタノール中に入れて攪拌混合した。スラリー状の懸濁液を、ポリ乳酸樹脂製の中子を挿入した石膏型 (外径約 15cm 、内径約 1.1cm 、高さ 10cm) に流し込み、石膏がエタノールを吸収して外部へ排出することにより型壁に着肉層を形成した。乾燥後、脱型した成形体を大気中 1700°C で 5-7 時間保持して焼結した。得られた焼結体について、寸法、密度、微細組織、結晶構造および硬さ等の特性を調べた。

3. 結果

所定形状を概ね満足した $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-60mol\% HfO}_2$ 焼結体を図 1 に示す。外径は $8.14 - 8.28\text{mm}$ 、内径は $4.64 - 4.80\text{mm}$ 、高さは 11.0mm であった。密度は、中実ペレットの約 93% (7.5g/cm^3) に達した。緻密な微細組織を形成することが認められたものの、約 $20\mu\text{m}$ 径の空隙が内面近傍の周方向に連続して形成される箇所が存在した。Eu、Hf および酸素の構成元素は均質に混合していることが確認された。なお、最大 $10\mu\text{m}$ 径の HfO_2 粒子の局在が一部に認められたが、潮解性の Eu_2O_3 粒子の存在は認められなかった。これは、蛍石型構造のみが同定された X 線回折測定の結果と整合した。微小硬度は、 $663\text{-}727\text{HV}$ の範囲で一定であったものの、内外面で低下する傾向が見られた。



図 1 鋳込み成形により製造した $\text{Eu}_2\text{O}_3\text{-60mol\% HfO}_2$ 焼結体

4. 結論

鋳込み成形により、均質かつ緻密な中空ペレット形状の長寿命型中性子吸収材を製造することができた。一方、局所に空隙の形成や密度および硬さの低下が見られた。これらは、スラリーの作成から鋳込み成形までの経過時間に依存すると考えられ、スラリーの凝集状態や型への着肉状態を正しく把握する必要がある。

参考文献 [1] 太田ら, AESJ 2016 秋, 2E03. [2] 中村ら, AESJ 2024 春, 2C17. [3] B. Rebensdorff ら, AESJ 2008 秋, C39. [4] 林ら, AESJ 2008 秋, C40.

*Kinya Nakamura, Hirokazu Ohta, Naoki Tarumi, Central Research Institute of Electric Power Industry