

Zr添加ODS-Cuにおける微細Y-Zr複合酸化物粒子の形成 Formation of fine Y-Zr complex oxide particles in Zr-added ODS-Cu

齋藤隼輝¹, 余浩¹, 井上耕治¹, 高子墨¹, 近藤創介¹, 笠田竜太¹, 永井康介¹
SAITO Toshiki¹, YU Hao¹, INOUE Koji¹, GAO Zimo¹, KONDO Sosuke¹, KASADA Ryuta¹,
NAGAI Yasuyoshi¹

(1) 東北大学 Tohoku University

【背景と目的】

原型炉以降の核融合炉ダイバータヒートシ
ンク構造材料として、実験炉ITERで用いられる
CuCrZr合金以上の強度・熱伝導性・耐照射性を
兼ね備えた銅合金の開発が期待されており、高
温安定な酸化物粒子を微細かつ緻密にCu母相
に分散させた酸化物分散強化銅合金 (ODS-Cu)
が注目されている。

当研究グループでは、これまで研究されてい
たODS-CuであるCu-Y₂O₃合金にZrを添加し、酸
化物粒子の微細化を狙ったZr添加ODS-Cuを開
発した [1]。この合金では、Zr添加によって微
細Y-Zr複合酸化物粒子がCu母相中に形成し、そ
の緻密な分散によってCu-Y₂O₃合金を超える強
度が実現された。

今後の合金開発に向けては、強度向上に寄与
した微細Y-Zr複合酸化物粒子の形態および形
成機構の解明が必要であり、本研究では、その
解明を目的として、3次元アトムプローブ
(3D-AP) および透過型電子顕微鏡 (TEM) に
よる微細組織観察を実施した。

【実験方法】

メカニカルアロイング (MA) 法を用いてZr
添加ODS-Cu粉末を作製し、放電プラズマ焼結
(SPS) によって固化した。固化したZr添加
ODS-Cu試料について、3D-APを実施し、合金中
の酸化物粒子の組成やサイズ分布に関する情
報を得た。また、TEM観察を実施し、酸化物粒
子の結晶構造やCu母相との方位関係を調べた。

【結果と考察】

3D-APによって、Zr添加ODS-Cu中の微細Y-Zr
複合酸化物粒子がZrリッチな非化学量論組成
であることが明らかになった。これは、ODS鉄
鋼材料において報告されているY₂Zr₂O₇や
Y₄Zr₃O₁₂とは異なる組成であり、ZrO₂-Y₂O₃状態
図 [2]上では蛍石構造イットリア安定化ジルコ
ニア (YSZ) に相当する組成であった。

また、TEM観察によってもZrリッチな微細
Y-Zr複合酸化物粒子が観察され、その結晶構造

が蛍石構造YSZと一致することが示された。
3D-APとTEM観察によって、Zr添加ODS-Cu中の
微細Y-Zr複合酸化物粒子が蛍石構造YSZである
と同定された。

得られた結果をもとにCu母相と酸化物粒子
の間の界面ひずみエネルギーについて検討し
た結果、蛍石構造YSZではCu-Y₂O₃合金中の
Y₂O₃粒子 [3]と比較してCu母相との整合性が向
上し、界面ひずみエネルギーが低下しているこ
とが示された。これにより蛍石構造YSZではオ
ストワルト成長が抑制され、微細化したと考え
られる。また、蛍石構造YSZのCu母相中にお
ける生成自由エネルギーについて検討したと
ころ、蛍石構造YSZがCu母相中で微細かつ安定に
形成しうることが示された。合金作製時にYと
Zrが1:1で反応するようY₂O₃とZrを添加してい
るにも関わらずZrリッチな蛍石構造YSZが形成
した原因として、TEM観察で粗大Y₂O₃相が観
察されていることから、Cuの高い延性がMAの粉
砕効果を阻害しY₂O₃が十分に分解されないた
めにMA後のCu母相中でY固容量が不足したた
めであると考えられる。

【結論】

Zr添加ODS-Cu中における微細Y-Zr複合酸
化物粒子が、過去報告されていない新奇の酸
化物である蛍石構造YSZであることが明らか
になった。

Cu母相と高い整合性を持つ蛍石構造YSZが
形成したことが、Zr添加ODS-Cuにおける酸
化物粒子の微細化・緻密化と、それによる強
度向上の原因であると考えられた。本研究に
よって、ODS-Cuの微細酸化物粒子としての
ZrO₂系酸化物の有用性が示唆された。

- [1] Gao *et al.*, *J. Alloys. Comp.*, 899 (2022) 163328
[2] Kobayashi *et al.*, *J. Ceram. Soc. Japan*, 106 [8]
782-786 (1998)
[3] S. M. S. Aghamiri *et al.*, *Nucl. Mater. Eng.*, 15
(2018) 17-22