

[2024202019]

高燃焼度炉心材料用 ODS ハイエントロピー合金中の母相/粒子界面による シンク効果及びボイド形成への影響評価

Sink effect and void formation at matrix/particle interface in ODS high-entropy alloy for high burnup core materials

岡 弘#, 橋本 直幸
Hiroshi Oka #, Naoyuki Hashimoto
Faculty of Engineering, Hokkaido University

Abstract

Irradiation resistance of high entropy alloys (HEAs) is believed to be due to frequent I-V recombination, as severe lattice distortion suppresses the migration of interstitial-type clusters. On the other hand, particle/matrix interfaces could be effective sink sites for point defects. In this study, secondary cluster formation in oxide dispersion strengthened (ODS) HEA was investigated under dual ion irradiation (Au + He) to elucidate the sink effect at the particle/matrix interface in HEA.

Keyword: Atomic displacement, Fuel cladding, Oxide dispersion strengthened (ODS) alloy, Particle interface, Sink site

1. 背景

ハイエントロピー合金 (HEA) は、複数の元素をほぼ等モル量で混合した合金であり、その内部には原子サイズ差に起因する大きな格子ひずみが存在すると考えられている。そのため、照射による二次欠陥の発達挙動、とくに格子間原子クラスターの移動および空孔との再結合が従来合金とは異なる可能性があり、原子炉構造材料としての基礎研究が進められている^[1,2]。また、耐照射性および高温強度の向上を志向した材料組織設計手法として、粒子分散法が挙げられる。第二相粒子を分散することにより、点欠陥のシンクサイトとなる異相界面を導入するとともに、可動転位に対する障害物^[3]となることも期待できる。当グループでは HEA に微細な酸化物を分散させた ODS-HEA を作製し、種々のイオン照射を用いてその耐照射性を評価している。

2. 方法

ODS-HEA バルク試料、アーク溶解で作製した HEA 及び焼鈍した 316L 試料に対し、高崎量子応用研究所 TIARA にて 300 及び 400 °C でのデュアルイオン照射(8.0 MeV Au⁴⁺, 0.6 MeV He⁺)を実施した。金イオンの選択は、HEA 構成元素との化学的相互作用を避け、かつ、大きな核的損傷による中性子照射模擬性を期待してのことである。照射試料から FIB にて薄膜試料を作製し、TEM (200kV)にて微細組織観察を行った。SRIM シミュレーション結果から、観察範囲はヘリウムイオンが均一に分布し、かつ、注入された Au の濃度が低い領域 (深さ 0.3~0.5 µm の領域; 約 50 dpa に相当) とした。なお、He⁺の照射においては、エネルギーディグレーダーを用いて深さ方向に均一に分布するように注入した。

3. 結果

Fig. 1 に 300 および 400 °C にてデュアルイオン照射した ODS-HEA の微細組織概観を示す。ヘリウムイオンが分布する領域 (図中の Analyzed area) に

いて、アンダーフォーカス/オーバーフォーカスによる詳細な観察の結果、300 °C においては明確なコントラストのキャビティは観察されなかったが、400 °C 照射材では粒子/母相界面でのキャビティの形成を確認した。観察されたキャビティの拡大像を Fig. 2 に示す。大きさ 20~30 nm 程度のナノ粒子の界面においてキャビティが確認できる (黄色矢印)。キャビティの大きさは約 10 nm 程度であり、球状やファセットではなく界面に張り付いた形態をとっていることがわかる。一方、300 °C で照射したアーク溶解 HEA や 316L では、レルロッドを利用した暗視野像観察によりフランクループの形成が確認された。これらの結果から以下の 2 点が推察できる。①HEA の照射二次欠陥形成には温度依存性があり、300 °C では主にフランクループ、400 °C では主にキャビテ

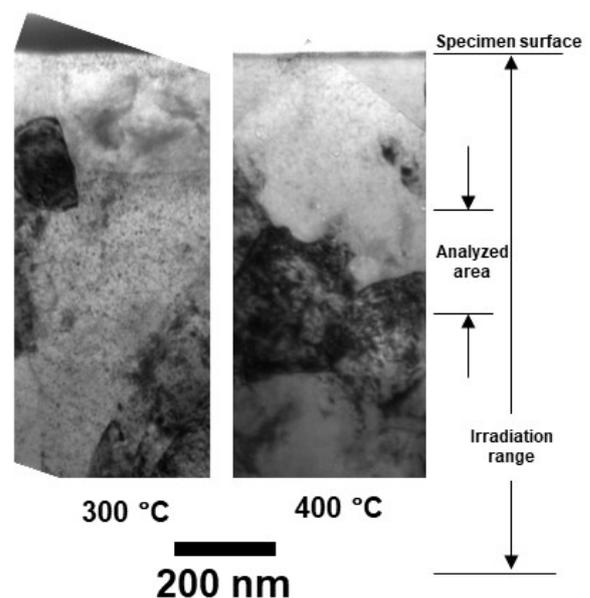


Fig. 1 Microstructure of ODS-HEA irradiated at 300 and 400 °C under Au + He dual ion irradiation.

イである。この温度依存性は 316 鋼に類似する。② HEA 中のナノ粒子界面は空孔やヘリウムのトラップサイトとなることが示唆され、材料内部でのヘリウムの微細分散固定、およびスウェリング低減が期待される。

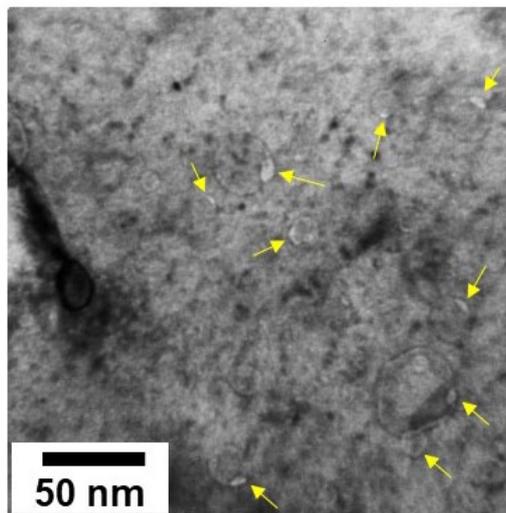


Fig. 2 Underfocused bright field image showing cavities formed at particle/matrix interface in ODS-HEA irradiated at 400 °C up to 50 dpa.

参考文献

- [1] C. Li et al., J. Nucl. Mater. 527 (2019) 151838.
- [2] C. Parkin et al., Acta Mater. 198 (2020) 85–99.
- [3] S. Ukai, J. Nucl. Mater. 307–311 (2002) 749–757.