

γ' 相析出型 Ni 基 ODS 超合金における γ' 相の高温照射下安定性評価

The stability of γ' precipitation in Ni-based ODS superalloy at high-temperature under heavy irradiation conditions

金野 杏彩

Konno Azusa

大久保 成彰

Nariaki Okubo

日本原子力研究開発機構

（概要）800℃以上の高温に耐えうる炉心材料が要求される次世代原子炉や核融合炉では、 γ' (Ni₃Al) 相に起因する高い高温強度を持つ、Ni 基合金の利用が期待されている。これらの原子炉では、高温強度だけでなく耐照射性も要求されるため、高温強度と耐照射性を両立させた合金の開発が必要不可欠である。そこで、我々は従来の Ni 基合金に酸化物粒子を分散させることで耐照射性を向上した、新 Ni 基超合金 MS4 を開発した。本研究では、新たに開発した MS4 において、800-1000℃・50dpa という次世代原子炉を模擬した照射環境下での γ' 相の安定性を評価することを目的とした。従来の Ni 基超合金では、510℃で γ' 相が溶解してしまうのに対し、酸化物粒子を含む MS4 では、800℃まで γ' 相が安定であることが判明した。

キーワード : Ni 基超合金、イオン照射、ODS、 γ' 相

1. 目的

次世代原子炉、核融合炉は、800℃以上もの高温環境かつ重照射環境での使用が想定される。このため、候補となる材料は高温強度や耐照射性に優れることが非常に重要である。一般的な構造材料として使用される Fe 基合金よりも高温強度に優れるとされる Ni 基合金は、合金中に析出する γ' 相によって強度を保持することが可能であるが[1]、一方で、材料が高速中性子線に晒されるため、材料内でのボイド形成や γ' 相の溶解が強度低下の原因となることが知られている[2]。そこで申請者らは γ' 相を析出させた Ni 基超合金を ODS（酸化物分散強化）化した合金である MS4 を開発した。本合金は、高温でも安定な数 nm オーダーの酸化物粒子を分散させ、高温強度と耐照射性を両立することを可能にしたものである[3]。申請者はこれまでの研究で MS4 における γ' 相が、600℃・100dpa の条件での照射下でも安定であることを世界で初めて解明したが、実機環境に近い 800-1000℃における γ' 相の照射下安定性は未だ明らかにされていない。そこで本研究では、TIARA 照射装置を用いて照射実験を行い、~1200℃・~100dpa までの γ' 相の照射下安定性を正確に評価するとともに、MS4 における γ' 相が高温重照射下でも安定に存在するメカニズムについて解明することを目的とする。

2. 実施方法

次世代原子炉、核融合炉炉心の候補材料である Ni 基 ODS 超合金（MS4）に対して、MT チャンバーにて各照射条件でタンデム加速器による Ni³⁺イオン照射を行った。これは、実際の原子炉での照射（中性子による弾き出し損傷）を模擬したものである。実際の炉心の出力温度は約 800~1100℃とされるため、これらの高温領域を狙って照射実験を行った。本年度は、700、800、900℃でそれ

ぞれ、100、100、50dpa の照射を ODS 合金、非 ODS 合金に対して行った。その後 Focused Ion Beam (FIB) にて透過電子顕微鏡 (TEM) 用試験片を作成し、TEM 観察を行った。

3. 結果及び考察、今後の展開等

照射後、800℃・100dpa 照射材に対して TEM 観察を行った結果、図 1 のような結果が得られた。赤矢印で示した白い Cuboidal 状の相が γ' 相である。この図より、 γ' 相は 800℃ でも形状を維持しており、安定に存在することが判明した。この相安定性の要因となるものとして、酸化物粒子のシンク効果が挙げられる。このため、同

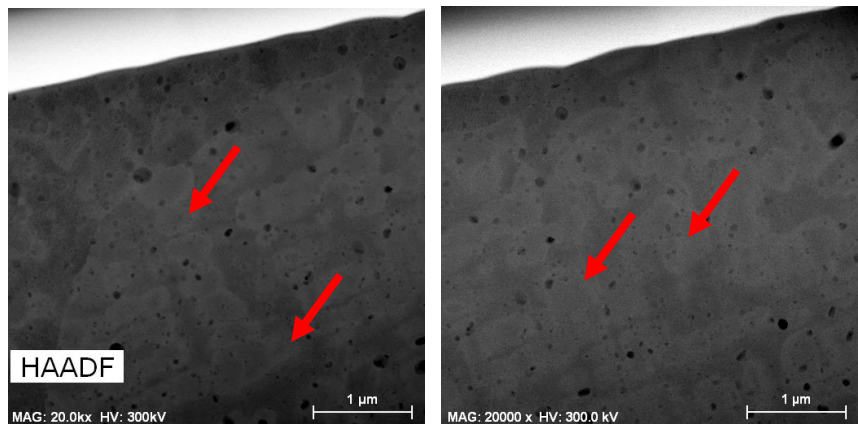


図 1 MS4 の 800℃・100dpa 照射材における HAADF 像。

照射材に関して、酸化物粒子周辺の γ' 相析出状況を観察した。この結果を図 2 に示す。図中の黄色矢印が酸化物粒子、Al、Ta が濃化している相が γ' 相である。この図より、酸化物粒子周辺において Al や Ta 等の γ' 相構成元素が濃化していないことから、 γ' 相が 800℃ でも安定に存在する要因が酸化物粒子のシンク効果によるものではないことが判明した。

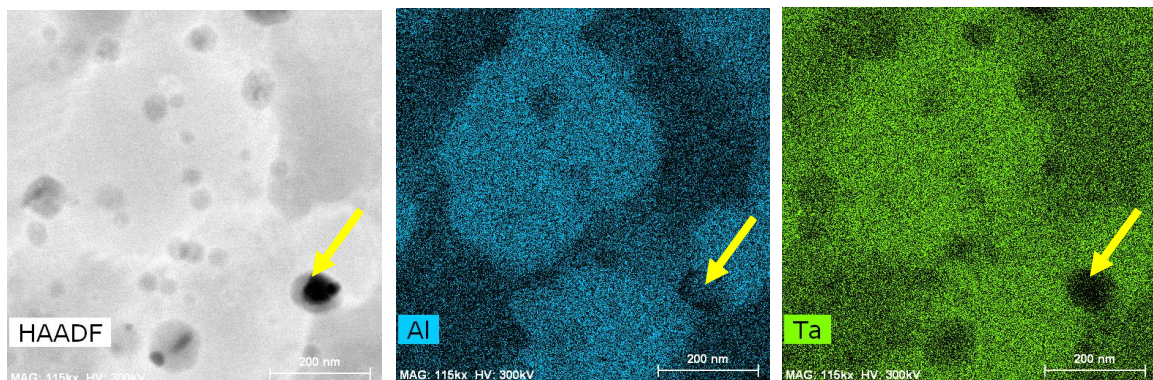


図 2 MS4 の 800℃・100dpa 照射材における HAADF 像（左）と EDS マッピング（中央：Al、右：Ta）。

今後、より実機環境に近い高温（～1200℃）での照射実験を行い、 γ' 相の安定性と酸化物粒子の影響の有無に関して詳細に検討していく予定である。

4. 引用(参照)文献等

- [1] D. S. Gelles, 'Gelles on precipitate stability,' ASTM Special Technical Publication, 683 (1978) 194-206
- [2] W. J. S. YANG, J. Nucl. Mater. 108&109 (1982) 339-346.
- [3] Chen, C.-L., et al., J. Alloys and Compounds, 586 (2014) S173-S179.