

1. 研究課題名：長寿命・高信頼性遮熱コーティングを実現する拡散バリヤ型ボンドコートの創製
2. 研究期間：平成16年度～平成20年度
3. 研究代表者：成田 敏夫（北海道大学・大学院工学研究科・教授）

4. 研究代表者からの報告

(1) 研究課題の目的及び意義

炭酸ガス排出抑制と省エネは世界的な課題であり、化石エネルギー変換機器の熱効率向上はその実効的手段である。特に、ジェットエンジン (JE) および発電用ガスタービン (GT) の熱効率は燃焼ガスのタービン入口温度 (Turbine Inlet Temperature : TIT) の上昇とともに増大することから、TIT の上昇が必須である。この高温の燃焼ガスからタービンプレード (Ni 基超合金) を保護するために施される遮熱コーティングの性能と寿命は、①トップコート (ZrO₂) の剥離、② 基材とボンドコートの拡散による基材強度の低下、に支配される。特に、次世代型高効率 GT と JE では、トップコートの剥離とともに、基材強度の低下が顕在化すると予想される。

本特別推進研究では、超高温環境下における超合金/コーティング/燃焼ガス雰囲気との相互作用を解明することによって、長寿命・高信頼性を有する耐酸化性と機械的特性を兼備した拡散バリヤ型ボンドコートの低コスト成膜プロセスを開発する。さらに、本研究成果を Fe 基合金、Co 基合金に技術移転することにより、GT, JE の他に、鉄鋼、各種燃焼炉、石油化学、自動車などの高温部材への適用を目指している。なお、高温酸化と機械的特性は互いに独立した学問領域として発展してきたが、本特別推進研究では材料科学と腐食科学を統合した新しい研究領域を開拓する。

(2) 研究の進展状況及び成果の概要

拡散バリヤコーティング (DB Coat) 「(Re-W-Cr-Ni)/(Ni-Al 系 $\beta + \gamma'$)」の Ni 基超合金への成膜プロセスを確立し、要素技術の特許に申請した。さらに、本成膜プロセスは Fe 基合金 (ステンレス鋼)、Co 基耐熱合金、Ni 基耐熱合金、等にも適用できることを実証した。耐酸化性、クリープ試験、状態図と拡散、組織観察、バリヤ組織の高温安定性、について検討を進めている。その成果は以下のように要約される。

- ①バリヤ層は Al の合金側への拡散と同時に合金元素の Al リザーバー側への拡散を効果的に抑制する。
- ②DB Coat は基材の耐クリープ特性の向上に寄与し、また、バリヤ層もクリープ変形能を有するとともに優れた拡散バリヤ特性を維持する。
- ③1150°Cにおける Ni-Cr-Re 系と Ni-Al-Re 系状態図を実験的に決定した。Ni-Al-Re 系状態図の γ' -Ni₃Al と γ -NiAl への Re 溶解度、および、Re 相への Al 溶解度はいずれも 1at%以下である。
- ④Re 基合金と γ' -Ni₃Al または γ -NiAl (<50at%Al) は高温で優れた共存性を有する。
- ⑤化学的バリヤの概念を基礎に開発したマルチバリヤコーティングは優れた耐酸化性を示し、熱応力による破壊に対しても優れた特性を有する。
- ⑥Al パック時に Hf, Zr, Y 等を同時に添加できる「(Hf+Al)処理」を開発し、(Hf+Al)処理したマルチバリヤコーティングは、優れた Al₂O₃ スケールの密着性を示し、苛酷な熱サイクル酸化においても、良好な耐酸化性を発揮する。

5. 審査部会における所見

A (現行のまま推進すればよい)

本研究は、耐酸化性と高強度を兼備した遮熱コーティングの実現とそれに関連する学理的基盤の開拓を目指している。提案された成膜プロセスの要素技術が多数の特許に結びつくなど、実用プロセスに関する研究として顕著な成果を達成している点は、高く評価できる。一方、材料強度学と腐食科学の融合にはやや遅れが見られ、今後これを目指した新しい材料科学分野の開拓への一層の注力が必要である。