

氏 名	よし おか よう めい 吉 岡 洋 明
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	論 工 博 第 3027 号
学位授与の日付	平 成 7 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	発電用ガスタービン高温部位の材料劣化に関する研究

論文調査委員 (主 査)
教授 大谷隆一 教授 井上達雄 教授 山口正治

論 文 内 容 の 要 旨

発電用ガスタービンは、今日、ベースロード用電力供給設備の中心的な役割を担っている。このため、ガスタービンの信頼性と稼働率の確保および寿命の延伸を目的とした寿命診断技術の開発が求められている。とりわけ、その高温部品は過酷な条件にさらされるために比較的短時間で大きな損傷を受けることから、高い寿命推定精度が要求される。したがって、個々の機器を構成する材料の経時的組織変化の挙動を明かにし、それにもとづく機器の寿命推定法の開発が必要である。

本論文では、ガスタービン高温部位のなかで、とくに実環境下で材料劣化が寿命を決定する要因となる燃焼器トランジションピースとタービン動翼を対象として、実機の劣化形態を解明するとともに、実験室においてその劣化プロセスを模擬した人工劣化材を作製し、材料劣化に関する新しい評価手法の提案を行ったものであり、全7章から構成されている。

1章は緒論であって、従来の高温機器寿命診断技術およびガスタービン用耐熱材料の劣化に関する研究の概要と未解決問題を指摘し、本研究の目的、意義および特徴を述べている。

2章では、トランジションピース用ニッケル基合金 Hastelloy X の人工劣化材を用い、実機運転時の熱履歴による時効現象について述べている。固溶強化型合金 Hastelloy X は未固溶の炭化物 M_6C 以外に時効によって粒界および粒内に $M_{12}C$ あるいは $M_{23}C_6$ の炭化物と金属間化合物 μ 相が析出するが、室温における引張強さ・耐力・硬さの変化は Orowan の by-pass 機構によって説明でき、粒内炭化物の粒子間距離の逆数で整理できることを明かにした。また、高温におけるクリープ強度に対しては、粒内析出物の増加によって劣化するが、析出相が粒界を覆う割合が高くなると強度低下を抑えることを見出した。これらにもとづき、析出組織から強度および寿命を予測する評価式を提案した。

3章では、動翼用ニッケル基合金 IN738LC の人工劣化材を用いて実機運転中に生じる過時効現象を解析している。IN738LC の主強化相である γ' 相の成長に関して、粒径は時間の $1/3$ 乗に比例して増大し、析出密度は時間に反比例して減少する関係が実機寿命に相当する数万時間まで成立することを明らかにした。また、この γ' 相と強度の相関については、室温の強度は転位が γ' 相の周囲にループを残して

by-pass する機構が働くこと、高温のクリープ強度はこの集積した転位ループの back stress により上昇運動を起こす過程が律速するとするモデルで説明できることを明かにし、 γ' 相組織にもとづいて強度および寿命を予測する評価式を提案した。

4 章では、動翼表面の耐食耐熱コーティングの劣化現象を解明し、それを数値シミュレーションによって予測する方法について述べている。ここでは、白金-アルミ (Pt-Al) コーティング層中の Al が基材のニッケル基合金に拡散して Al リッチな板状の劣化相が形成されることを明かにし、この劣化相をブリーチングと称してコーティング層の劣化を表す指標とすることを提案した。ブリーチングの形成に関する Al クラスターの拡散モデルにもとづくモンテカルロシミュレーションによって実機の劣化現象を再現することを試みた。その結果、形成密度は時間に比例して増加すること、冷却翼は無冷却翼に比べてブリーチング形成のピークを示す温度が高温側に移行し、かつ形成量も多くなること、また、ブリーチングの形態に基材合金の方位依存性があることを明らかにした。

5 章では、動翼をリコーティングした後に施す溶体化時効の熱処理がクリープ強度および寿命に及ぼす影響について述べている。すなわち、クリープ中断材あるいは破断材に通常の熱処理を施しても γ' 相の完全固溶・再析出が図れず、クリープ破断強度の完全な回復は得られないが、最小クリープ速度および 3 次クリープ開始時期は新材と同程度に回復するので、実機寿命は新材と同等として取り扱ってもよいことを明らかにしている。

6 章では、3 章で求めた γ' 相の成長則を用いて動翼のメタル温度を推定する方法を提案している。負荷によって γ' 相のラフト現象が生じる場合でも無負荷時の成長則に従い、温度の推定精度は長時間かつ高温になるほど高くなることを示した。本方法によって求めた翼の温度分布は、汎用解析コードによって計算された結果と比較してより正確であり、十分な精度で実用に供することができるとともに、温度解析プログラムの問題点を指摘することができた。

7 章は結論であり、本論文の成果を総括している。

論文審査の結果の要旨

本研究は、発電用ガスタービンの寿命推定を合理的かつ高精度で行うために、寿命が短く、かつ劣化が著しい燃焼器トランジションピースとタービン動翼の材料劣化を解析したものである。すなわち、両部品は高温に曝されるため運転中に著しい劣化が生じるが、その実体を実用ガスタービンについて詳細に調査し、劣化に対応する材料の組織変化を同種材料を用いて実験室で再現することにより、材料および部品の劣化に関する新しい定量評価の方法を提案した。得られた主な結果は以下のとおりである。

1. 燃焼器トランジションピース用 Ni 基固溶強化型合金 Hastelloy X について、室温強度と粒内析出物の粒子間距離との関係、高温クリープ強度と粒内析出物の体積率および粒界被覆率との関係を明らかにし、炭化物等の析出組織から強度および寿命を予測する評価式を提案した。
2. タービン動翼用 Ni 基合金 IN738LC の主要な強化相である γ' 相の成長則を明らかにした。また、この成長則にもとづいて翼の温度を推定する方法を提案し、実機に適用可能なことを明らかにした。
3. IN738LC については、室温強度は γ' 相の粒子間距離と、高温クリープ強度は γ' 相の粒子間距離

および粒径とよい相関があることを明かにし、 γ' 相組織から強度および寿命を予測する評価式を提案した。

4. 動翼表面の耐食耐熱コーティング層の劣化は、コーティング層内の Al が基材の Ni 基合金へ拡散し、板状の劣化相を形成する過程で支配されることを明かにし、この劣化相の形成をモンテカルロシミュレーションによって推定した。

5. 動翼をリコーティングした後に施される溶体化時効の熱処理は、動翼材料のクリープ損傷を回復させる効果があることを明らかにした。

以上のとおり、本研究の成果は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成7年7月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。