

氏 名	さ とう あき ひろ 佐 藤 彰 洋
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	論 工 博 第 3913 号
学位授与の日付	平 成 18 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	先進 Ni 基単結晶超合金およびその耐酸化コーティングの研究開発

論文調査委員	(主 査) 教 授 乾 晴 行	教 授 栗 倉 泰 弘	教 授 落 合 庄 治 郎
--------	--------------------	-------------	---------------

論 文 内 容 の 要 旨

本研究は、ジェットエンジンなどの熱機関の高効率化に不可欠な高圧タービン動翼の高性能化を目的に、クリープ特性、耐酸化性ともに優れた特性を示す Ni 基単結晶超合金組成、および基材 / コーティング間の相互拡散抑制を示す耐酸化コーティング組成を見出したものであって、7 章からなっている。

第 1 章は緒論であり、研究の背景、タービン翼に求められる Ni 基単結晶超合金の特性などを述べるとともに、本研究の目的について述べている。

第 2 章では、タービン翼の設計において重要な条件 1000°C/245MPa 下のクリープ寿命に影響を及ぼす因子を明らかにすることを目的に、クリープ破断寿命の対数を目的変数に、 γ' 相組成、ミスフィット、 γ' 相体積率を説明変数にした精度よい重回帰予測式を作成することに成功している。また、Ru 添加量と TCP 相発生の限界固溶元素量の関係を定量化することで、1000°C/245MPa 条件化のクリープ特性に優れる合金を効率よく設計できるようにしている。

第 3 章では、第 2 章で得られた知見をもとに耐酸化性を向上させる元素である Cr を従来第 5 世代合金よりも増量させ、耐酸化性とクリープ強度がともに優れる第 5 世代合金 TMS-196 の組成を見出している。そのクリープ特性は、低温・高応力条件から高温・低応力条件まですべての条件で従来合金を上回り、特に高温・低応力条件では緻密な γ/γ' 界面転位網が形成されることなどにより、優れたクリープ特性が実現することを明らかにしている。TMS-196 の耐酸化性は、保護皮膜である Al_2O_3 層が連続的に形成されるため、従来の第 3 世代以降の合金を大きく上回り、第 2 世代合金 PWA1484 に匹敵することを示している。さらに、実機単結晶中空タービン翼の鑄造試作を行ない、TMS-196 の鑄造性が良好であり、実用的に問題ない可能性が高いことを明らかにしている。

第 4 章では、開発合金 TMS-196 および比較合金 TMS-138A において、1 次時効熱処理温度がクリープ特性に与える影響を把握している。いずれの合金も、一次時効温度が 1150°C 以上となると γ/γ' 整合組織が準整合化し、クリープ条件 1000°C/245MPa では、連続的なラフト組織が形成されなくなるため寿命が著しく低下することを明らかにしている。一方、クリープ条件 900°C/392MPa ではラフト組織がそれほど重要でないことから、1 次時効温度の影響は条件 1000°C/245MPa と比べて小さいことを示している。

第 5 章では、Ni 基単結晶超合金のクリープ寿命に及ぼすアルミ拡散コーティングの影響を明らかにしている。アルミ拡散コーティングを施した第 2 世代～第 4 世代の合金について厚みを変えたクリープ試験から、コーティング材のクリープ寿命はベース材よりも低下すること、および試験片厚さが薄くなるにつれ、また、合金の世代が上がるにつれ寿命低下率は大きくなることを明らかにしている。コーティング材ではコーティング / 基材の相互拡散により基材部分の有効断面積が減少するためクリープ寿命が低下することを明らかにし、先進 Ni 基超合金を将来的に薄肉タービン翼へ適用する場合、拡散層を抑制するコーティング開発が必要であることを明確にしている。

第 6 章では、理論上、基材との相互拡散が生じない熱力学平衡コーティング (EQ コーティング) を発案し、基材と平衡する tie-line 合金をコーティング材として選定することで、コーティング / 基材間の元素の相互拡散を抑えることに成功し

ている。基材の γ' 合金は tie-line 合金の中で最も耐酸化性に優れ、拡散層を生成させない先進 Ni 基超合金向け耐酸化コーティングの有望な候補であることを明らかにしている。さらには、 γ' 相 EQ コーティングを溶射プロセスにより施工し、薄肉コーティング材のクリープ特性を調べた結果、アルミ拡散コーティングのようにクリープ寿命を低下させずに、ペア材と同じ寿命を示すことを明らかにしている。

第7章は総括であり、本論文で得られた成果について要約するとともに、今後の課題と展望を述べている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、ジェットエンジンなどの熱機関の高効率化に不可欠な高圧タービン動翼の高性能化を目的に、クリープ特性、耐酸化性ともに優れた特性を示す Ni 基単結晶超合金組成、および基材 / コーティング間の相互拡散抑制を示す耐酸化コーティング組成を見出したものである。得られた主要結果は以下の通りである。

1. 実用上重要な条件 1000°C/245MPa でのクリープ寿命に及ぼす 1000°C における γ' 相組成、格子定数ミスフィット、 γ' 相体積率の影響を定量化し、精度よい重回帰予測式を作成することに成功した。また、Ru の組織安定効果を定量化した。
2. 得られた予測式をもとに、クリープ特性と耐酸化性がともに優れる第5世代合金 TMS-196を開発し、そのクリープ特性と耐酸化性の詳細を論じた。開発合金 TMS-196の実機単結晶タービン翼の鋳造試作にも成功し、将来、ジェットエンジン向け合金として有望であることを明らかにした。
3. 開発合金 TMS-196のクリープ寿命に及ぼす1次時効温度の影響を調べ、時効温度を 1150°C 以上にすると、 γ/γ' 界面が準整合化し、クリープ変形中に連続的で緻密なラフト組織が形成されず、1000°C/245MPa のクリープ寿命が大きく低減することを明らかにした。
4. 基材と熱力学的に平衡する成分を耐酸化コーティングに用いる新しいコンセプトを発明し、コーティング / 基材間の元素の相互拡散を抑え、基材のクリープ寿命の低下を防ぐことに成功した。

以上のように、本論文は、詳細なデータ解析と新規なアイデアをもとに、優れたクリープ特性、耐酸化性を示す単結晶合金組成および単結晶基材 / コーティング間の相互拡散抑制を示すコーティング組成を見出し、実証的に特性に優れた新合金、新コーティングを開発したもので、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18年7月25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。