

審査の結果の要旨

氏名 黄河激

ガスタービンやジェットエンジンを始めとする高温環境下での利用を目的とした高温部材研究開発において、更なる高効率エネルギー変換、高出力化、環境負荷低減などを目指した新規熱遮蔽コーティング(TBC)技術開発が世界各国で挑戦的課題として展開されている。本研究はプロセシング的観点から当該分野の展開を目指し開発した 300 kW ツインハイブリッドプラズマプレーシステムにより粉末溶射と物理気相堆積プロセスの統合によるスプラット・柱状組織の有機的複合化を可能とする新規コーティング技術開発を主眼とし、その工学的基盤確立を検討したものである。本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、TBC の意義、新規 TBC 開発の世界的動向及び問題点等を詳述し、本研究の位置付け目的を明確化している。

第 2 章では、プラズマプレープロセス高度化に向け、その基礎となる、プラズマ発生、粉体の加熱履歴、溶射粒子の変形凝固過程等に関するシミュレーションを展開し、一部実験との対応も検討している。特に、ハイブリッドプラズマ発生に関して、入力、ガス流量、ガス組成の温度及び流速への影響を明示し、入力 100kW では 100 μm に近い大粒径 YSZ 粉末を 10 g/min で完全に熔融スプレーしうる可能性を示すとともに、粒子の速度分布やスプラット形状を予測し、実験との比較により溶射粒子の最適速度の存在を示したことは高く評価される。結果として、プラズマ入力、粉体供給速度、粉体サイズ、プラズマ/基体間距離を変数に、溶射組織、PVD 組織を制御するための要件や具体的スプレー条件を明らかにするとともに、これら変数の連続的变化によって溶射/PVD 複合組織形成が原理的に可能であることを確認している。

第 3 章では、主として本研究で開発導入した 300 kW 出力ツインハイブリッドプラズマプレーシステムの仕様、構造、特性等をまとめるとともに、以下の章におけるコーティング実験研究における詳細な手順を述べている。

第 4 章では、第 2 章での提案をもとに一般的な TBC の基本系であるボンドコート CoNiCrAlY とトップコート YSZ の大粒径粉末溶射を試みている。前者に関する実験では、低入力においてもプラズマの 3 系統ガス流制御により 8 枚の 50 mm \times 50 mm の回転基板全体に均一な溶射層形成が可能であること、ツイントーチの一方を溶射用に他方を加熱用とした場合には緻密度が向上しかつ堆積効率が 30% 増大することなどを明らかにし、本システム使用による金属系材料溶射の容易性を示した。他方、後者においては、大粒径 YSZ 粒子を使用することによる、スプラット間での密着性の向上、トップコートとボンドコート間界面でのマクロな欠陥密度低減を可能とし、YSZ コーティングでは入力条件により空隙率を 3%・18% まで制御可能としている。

第 5 章では、本システムによる YSZ のプラズマ PVD の実験成果をまとめている。本プロセスでは噴入粒子の完全蒸発が基本となるため、前半では、YSZ 粉末の種

類、粒径、供給速度、プラズマ入力及びガス流条件といったパラメータによる TP-PVD コーティングの組織変化をシングルトーチにより系統的に調査し、本システムの最大出力条件下において 10 μm 径前後の YSZ 粉末を噴入する場合には 2 g/min 程度が完全蒸発の限界であり、堆積速度約 50 $\mu\text{m}/\text{min}$ の PVD が達成されること、更に噴入量を増やすことにより PVD 組織中にスプラットが分散された組織が形成されること等を示した。後半では前半の結果を受け、第 4 章で検討した溶射との組み合わせにより本研究で提案した溶射粒子が PVD 柱状組織に制御された間隔で埋め込まれた特異なナノ構造複合皮膜を実現している。また、50 $\mu\text{m}/\text{min}$ を超える堆積速度において作製した 650 μm 厚の複合皮膜において熱伝導率 0.7 W/mK を達成している。

第 6 章では本研究で得られた成果を総括し、本研究で得られた成果により、新規 ツインハイブリッドプラズマスプレー技術が次世代熱遮蔽コーティング製膜において有望なプロセスであると結論付けている。

以上を要するに、本研究は溶射/PVD の複合組織を有する TBC のトップコートがプラズマスプレー法で作製可能であることを初めて示し、実用化の観点から TBC システム研究の先導的役割を果たしたものであり、材料工学に対する貢献は大きい。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。