



Title	New Approach for Advanced Zirconia Thermal Barrier Coatings by Plasma-Laser Hybrid Spraying Technique
Author(s)	左, 相玉
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/44293">https://hdl.handle.net/11094/44293</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	左相玉
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第17296号
学位授与年月日	平成14年9月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科生産科学専攻
学位論文名	New Approach for Advanced Zirconia Thermal Barrier Coatings by Plasma-Laser Hybrid Spraying Technique (プラズマ・レーザ複合溶射法を用いた高機能熱遮蔽皮膜創製)
論文審査委員	(主査) 教授 大森 明 (副査) 教授 宮本 勇 助教授 片山 聖二 助教授 村上 健児

### 論文内容の要旨

本論文はプラズマ・レーザ複合溶射法を用いてジルコニア熱遮蔽溶射皮膜の特性改善を図る研究で、以下に示す8章から構成された。

第1章では、序言であり、本論文の背景と目的および論文の構成について述べた。

第2章では、カライドスコープを設置したプラズマ・レーザ複合溶射装置、ビーム特性、従来のレーザ処理との相違と有効性を様々な実溶射皮膜へ適用する事で明らかにした。

第3章では、レーザ後処理において溶射皮膜の表面粗さがそのマイクロ組織に及ぼす影響について示し、理論的及び実験的考察を行った。

第4章では、Rietveld手法でレーザ後処理したジルコニア溶射皮膜の結晶構造、相変態の解明を図った。また、X線光電子分光分析により表面状態の分析を行い、溶射皮膜の色変化の原因及びイットリア安定化ジルコニア溶射皮膜の相安定について述べた。

第5章では、様々なレーザ後処理及び複合処理条件でのマイクロ組織と耐熱衝撃強さを定量的に評価した。まず、蛍光樹脂真空含浸処理により試験片の準備過程での切削・研削・研磨によって損傷し易い皮膜を保護し、走査型共焦点レーザ顕微鏡、走査型電子顕微鏡で皮膜中の欠陥の3次元観察、割れの形態および密度を定量的に分析し、マイクロ組織と耐熱衝撃特性との相関を明らかにした。

第6章では、レーザ処理で変化したマイクロ組織を持つ熱遮蔽溶射皮膜の熱拡散率及び耐エロージョン特性を検討し、横割れを持つ複合溶射皮膜において熱伝達の新しいモデルを提案し、熱遮蔽皮膜としての有効性を示した。さらに、マイクロ組織の変化する各溶射皮膜に対するエロージョン過程を検討し、レーザ処理による相違を明らかにした。

第7章では、高温酸化処理で、熱遮蔽溶射皮膜の界面酸化挙動及びそれによる皮膜の破壊過程を評価し、実応用におけるレーザ複合溶射皮膜の健全性を確認した。

第8章では、以上で得られた知見を総括し、本論文の結論とした。

## 論文審査の結果の要旨

本論文はガスタービンに代表される高温技術分野で、より優れた熱効率と経済性および低環境負荷達成に必要なジルコニア熱遮蔽溶射皮膜の高機能化を新しいプロセスであるプラズマ・レーザ複合溶射法で検討している。さらに、様々なレーザ後処理および複合溶射処理で作製した熱遮蔽溶射皮膜のマイクロ組織変化と実機部品作製において考慮すべき因子である耐熱衝撃強さ、熱拡散率、耐エロージョン特性、そして高温酸化挙動を定量的に評価し、その相関性を明らかにしている。本研究の主要な新知見は以下のとおり要約される。

- (1) 従来のレーザ処理は表面改質には適切でない低エネルギー領域と過入熱領域を独立して制御できないのに比べ、カライドスコープを用いる場合、レーザビームの過エネルギー密度部分を抑えてジルコニア溶射皮膜を均一に処理できることを示している。
- (2) 鏡面研磨皮膜の溶融深さは溶射したままの皮膜の半分以下で、また、皮膜全体の外観より表面状態の粗い溶射皮膜は適正パワー密度 ( $\sim 28.7 \text{ Wmm}^{-2}$ ) を超えるとカライドスコープを用いたレーザ処理でも均一な表面処理ができず皮膜表面がスパッティングで脱離するのを確認している。実験結果の理論的考察から従来、報告されていない複雑な表面状態を持つ溶射皮膜の表面、特に表面粗さがレーザ光吸収および散乱特性に大きな影響を及ぼすことを明らかにしている。
- (3) Rietveld 手法を用いることにより、レーザ後処理を行ったジルコニア溶射皮膜の結晶構造解析を行い、レーザ処理を行うことによって完全な皮膜の再溶融が生じた試料においても単斜晶および立方晶は認められず  $t'$  が主な相として存在することを確認している。また、XPS 分析および Kröger-Vink の反応式を用いることでレーザ処理後の皮膜表面黒化現象を説明している。
- (4) 蛍光染料含有の低粘度樹脂含浸と共に焦点レーザ顕微鏡観察によってレーザパワー密度およびエネルギー密度を変化させて処理した皮膜中の欠陥の3次元的観察およびマイクロクラックの定量化が可能であることを示している。
- (5) 縦割れ長さ、クラック密度から熱衝撃特性との関係を把握し、レーザ複合溶射で作製した枝状のクラックを持つ皮膜が、基材全体を均一に加熱する電気炉水焼入れおよび  $\text{CO}_2$  レーザによるジルコニア溶射皮膜からの局部加熱試験による様々な応力モードに対して、最も優れた耐熱衝撃特性を有することを明らかにしている。
- (6) レーザ後処理皮膜においては熱拡散率の減少が認められないが、プラズマ・レーザ複合溶射で作製した水平に枝状クラックを導入した皮膜に対しては、適正条件 ( $P_p = 120 \text{ Wmm}^{-2}$ ) においては、熱拡散率を溶射したままの皮膜と比較して、約 60% 減少させることができることを示している。また、枝状クラックを持つレーザ複合溶射皮膜の新しい熱伝達モデルを提案している。
- (7) レーザ後処理皮膜の耐エロージョン特性は、レーザ処理を行っていない溶射皮膜よりも低下するのが認められ、レーザ複合溶射で作製した皮膜の耐エロージョン特性は向上し、長時間の試験においても、摩耗減量は少なく、定常状態の摩耗挙動を示すことを確認している。
- (8) 高温での繰返しおよび長時間酸化試験結果から、レーザ後処理および複合溶射で予め導入した微細ラックが応力を緩和し、貫通クラックおよび界面剥離の進展を抑制し、熱遮蔽溶射皮膜の寿命を向上させることを確認している。以上のように本論文は高機能熱遮蔽溶射皮膜創製のため、プラズマ・レーザ複合溶射法という新しいプロセスを提案し、また、実機のガスタービン部品への適用の際に考慮すべき因子である耐熱衝撃強さ、熱拡散率、耐エロージョン特性、そして高温酸化挙動を定量的に評価し、その相関性を明らかにしている。これらの成果はガスタービン分野の技術改善に対して重要な示唆を与え、熱遮蔽溶射皮膜の長寿命化が期待され、生産科学、特に溶射工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。