国産溶射機メーカー
コーケンのアーク溶射機
アーク溶射機はコーケン
MJP5000 HVOF
アーク溶射の生産で豊富な実績と高い信頼性
PGシリーズ
プラズマ溶射システム
60kW・80kW 出力
プラズマ
PG型 Jet Arc Gun
デモルーム完備 随時見学可
国産・溶射機メーカー ／ 創造的活動法認定企業
■コーケンの溶射機について、ホームページを御覧下さい
http://www.coaken-techno.co.jp
コーケン・テクノ株式会社
〒592-8352 大阪府堺市西区築港浜寺西町5-2 E-mail:info@coaken-techno.co.jp
TEL 072(268)1201 FAX 072(268)1204

最新溶射工学の決定版！
溶射工学便覧
溶射作業の現場でも役立つ
具体例も豊富に掲載！
最新情報に素早くアクセス
《内容》溶射の基礎/溶射の原理/溶射材料/
溶射装置・設備/溶射法の概要/前処理工程/
溶射加工工程/後処理工程/検査工程/自動化技術
皮膜の性質と試験法/溶射の応用/安全と衛生
定価：35,000円　A5判　935頁
一般社団法人 日本溶射学会 Japan Thermal Spray Society
〒577-0809
大阪府東大阪市永和2−2−29
TEL:06-6722-0096
FAX:06-6722-0092
WEB：http://www.jtss.or.jp

溶射技術

航空機エンジン・発電用ガスタービン 効率向上のための溶射皮膜

溶射はセラミックや金属などを溶融し、基材表面に吹き付けて皮膜を形成する表面改質技術。耐食、耐熱、耐摩耗などを目的に産業分野で幅広く活用され、さらなる改善や、適用拡大に向けた研究開発が進められている。今回は東北大学大学院工学研究科の小川和洋教授に、航空機エンジンや発電用ガスタービンを例に、高温部材用途でカギを握る遮熱コーティングについて解説してもらった。

適用拡大へ 無限の可能性に挑む

東北大学大学院工学研究科
教授 小川 和洋

溶射技術は、数百ミクロンメートルの程度の厚膜を短時間で大面積に施工可能な技術であり、この数百ミクロンメートルの皮膜が種々の構造物・材料に対し、優れた耐食性、耐摩耗性、あるいは耐熱性などの特性を与える。用途として、橋りょう、工業用ロール、自動車、航空機エンジン、産業用タービンなどが挙げられ、多くの構造物の諸特性向上・改善のために利用されている。

特に、筆者は溶射技術を使ったアプリケーションの一つとして、航空機エンジンや先進火力発電用ガスタービンなどの動静翼・燃焼器といった高温部材へ適用されている遮熱コーティング（TBC）の研究を進めている。

TBCは燃焼効率向上や地球温暖化をもたらす温室効果ガスの抑制には、欠くことのできない極めて重要な技術である。航空機エンジンや先進火力発電用ガスタービンにおいては、タービン入口ガス温度の上昇が直接燃焼効率の向上につながるため、この入口ガス温度の上昇が図られている。

しかし、高温に耐えうる新規材料の開発や基材を熱から保護する冷却システムだけでは限界があり、現在ではタービン動静翼上へ熱伝導率の低いセラミックス材料を用いたTBCを適用している。

TBCは、低熱伝導率を有し、かつ熱膨張係数が基材に近いセラミックスが選ばれ、これを耐熱合金基材上に成膜することにより、基材の温度上昇を抑制する技術である。TBCは数百ミクロンメートルのコーティングにより100−150度C程度の遮熱効果が得られることから、ガスタービンの高効率化のためには極めて有効である。

しかしながら、高温環境における長時間の使用により、セラミックトップコート／金属ボンドコート界面には、熱成長酸化物（TGO）が生成し、TBCはく離の主要因となっている。TBC断面の模式図を**図1**に示す。TBCがはく離した場合、基材が高温環境に曝され、高温酸化による減肉や高温クリープ損傷が進行し、翼の寿命を低下させる。

このTGOは、ボンドコート材料であるMCrAlY（MはNiあるいはCo）が高温酸化することによって、主にAl酸化物から成る層とCr、Ni、Coの酸化物が混合した層の二層構造となる。後者は混合酸化物と称され、多孔質であり、その気孔による応力集中がき裂発生を引き起こしTBCはく離の一要因となっている。また、Al酸化物、混合酸化物を含めたTGOの厚さ増加は、起動−停止時の温度変化による熱応力が助長されるため、これもTBCはく離の一要因である。

このように、TGOの生成・成長がTBCのはく離劣化を支配する一つの要因として認識されており、TGOの成長抑制やTGOの形態を制御できればTBCの耐はく離性向上の可能性が期待できる。

TBC、燃焼効率を向上

温室効果ガス発生も抑制

その一つのアプローチとして、著者らは希土類元素であるセリウム（Ce）を添加したボンドコート材料を開発し、くさび状のTGOを得ることで、従来材を用いたものよりも2−3倍程度、トップコート／ボンドコート界面強度を向上させることに成功した。

図2には、従来のCoNiCrAlYをボンドコートに用いたTBCと、開発したCe添加ボンドコートを用いたTBCの双方について、1100度Cで100時間、高温酸化試験を行った際の高温酸化挙動の違いを示す。従来材の場合、トップコートを透過した酸素とボンドコート構成元素であるAlなどが反応し、トップコート側へ外方拡散で酸化物が生成・成長している。一方、Ce添加ボンドコートでは、酸化物がボンドコート内部へ木の根の様に生成・成長していることがわかる。

このような木の根状の酸化物をくさび状TGOと呼んでいる。このくさび状TGOが生成することで、トップコート／ボンドコート界面強度が向上することが確認されている。ただ、くさび状TGOを生成させるためには、実機使用温度よりも高温である1100度Cまで温度を上昇させる必要があることが、これまでの検討からわかっている。実機使用温度は900−1000度Cであり、この温度で高温酸化試験を実施すると、Ce添加ボンドコートを用いても、従来材と同様に、トップコート側へ生成・成長するTGOができ、界面強度の向上は認められなかった。

（本文、次ページに続く）

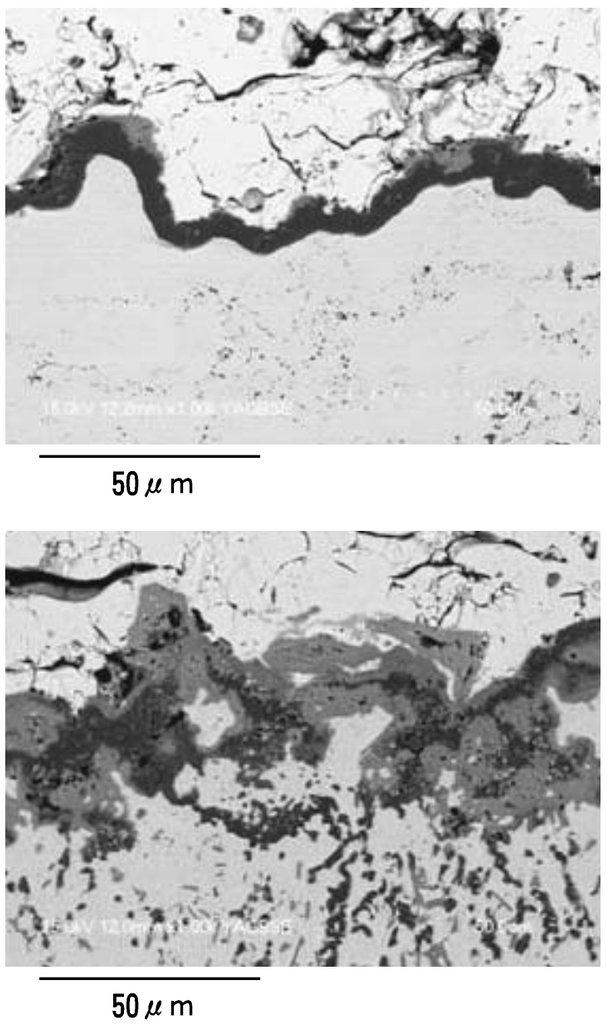

図2 高温酸化試験後の熱成長酸化物形態

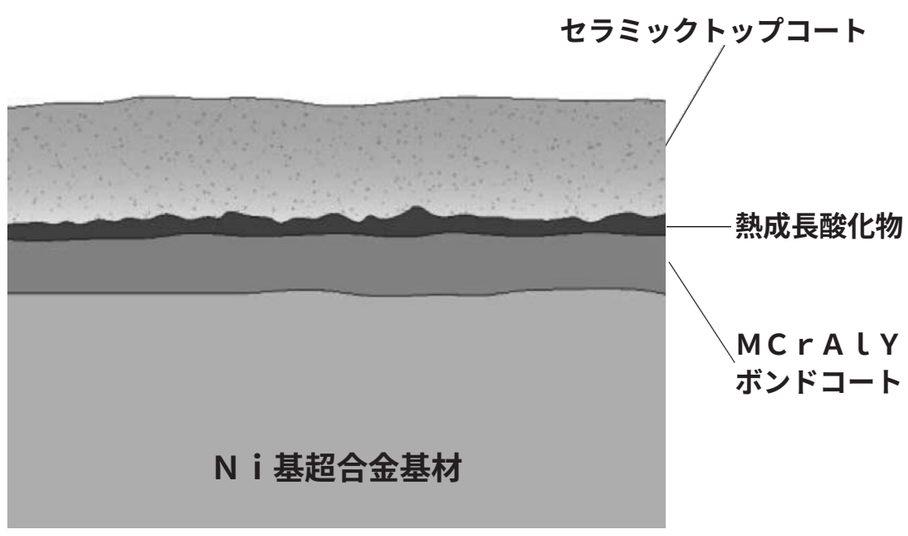

図1 TBCの断面模式図

Thermal Spraying Solution TOCALO
いつも、最先端。
味な表面、そろえました。
フルーツの表面は千差万別。不思議な形のオンパレードです。
鉄の表面をチタンに、アルミの表面をセラミックスに。
トーカロの表面改質技術も負けてはいません。
さまざまな高機能皮膜の研究開発を通じ、多彩な表面を創造しています。
トーカロ株式会社
溶射加工　TDプロセス　CDC・ZAC・プロセス　PTAプロセス　PVD
本社 〒658-0013 神戸市東灘区深江北町4丁目13番4号　Tel.078-411-5561　Fax.078-452-8178　http://www.tocalo.co.jp

SULZER　Sulzer Metco
スルザーメテコは表面処理技術の総合メーカーです
New!!
Kinetiks 8000 高圧高温型 コールドスプレーガン
MetcoClad™ レーザクラッド システム・材料
Sinplex Proシリーズ カスケードアーク型 新万能プラズマガン
Sulzer Metco
Thermal Spray Technology
TriplexPro-210 新世代型3電極式 プラズマ溶射ガン
Diamond Jet シリーズ DJ-Air cooled、DJ2600、DJ2700 ガス燃焼式HVOF溶射ガン
WokaStar-610-Si 新液体燃料式 HVOF溶射ガン
その他、アーク溶射装置を含め各種溶射材料等、豊富なラインナップでお客様の様々なニーズへお答えします。
Sulzer Metaplas
PVD Coating Technology
New Domino PVDコーティング装置
■フレキシブル モジュラー式 PVDシステムプラットフォーム
■AEGD パワーエッチング技術
■最新Advanced Plasma Assisted アークエバポレーター
■アーク＆スパッタリング ハイブリッドコーティング
■HIPAC / 高出力パルス マグネトロンスパッタリング
スルザーメテコジャパン株式会社
http://www.sulzer-metco-japan.co.jp
〒179-0084 東京都練馬区氷川台3-4-2 TEL:03-5920-3301 FAX:03-5920-3511
名古屋支店、名古屋ロジスティクス TEL:052-505-5580
大阪支店 TEL:06-4807-7741
ISO 9001 BUREAU VERITAS Certification
ISO 14001 OHSAS 18001 BUREAU VERITAS Certification
adv@sulzer-metco-japan.co.jp