20405

遮熱コーティングの皮膜特性に及ぼす溶射条件と高温曝露条件の影響

Influence of Thermal Spraying Condition and High-temperature Exposure Condition on Coating Properties of Thermal Barrier Coatings

○学 和田 英志 (東工大院)

正 荒井 正行 (電中研)

正 岸本喜久雄 (東工大)

大野 直行 (プラズマ技研)

Eiji WADA, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Masayuki ARAI, Central Research Institute of Electric Power Industry, 2-11-1 Iwado kita, Komae-shi, Tokyo

Kikuo KISHIMOTO, Tokyo Institute of Technology, 2-12-1 O-okayama, Meguro-ku, Tokyo

Naoyuki OHNO, PLASMA GIKEN CO.,LTD., 2-1-12 Bijogi, Toda-si, Saitama

Thermal Barrier Coating (TBC) is fabricated by thermal spray technology. In this technology, coating particles are melted in high-temperature plasma flow, impinged and deposited continuously to a substrate surface. Since a coating layer is formed by this way, it seems that the microstructure and the mechanical properties of TBC are affected by the spray condition and high-temperature environment in service. In this study, the substrate temperature and the particle velocity of the coating particle in plasma flow as the spray condition are varied. Coefficient of thermal expansion, elastic modulus, crack length, Vickers hardness, porosity, bending strength and residual stress of the ceramic layer are measured for as-sprayed specimen. In addition, thermal exposure tests are conducted to examine influence of exposure temperature on the mechanical properties of TBC.

Key Words : Thermal Barrier Coating, Plasma Spray, Spray Condition, Heat Treatment

1 緒言

発電用ガスタービンでは、効率向上のために第一段静翼の入口温度高温化がおこなわれており、高温ガスからの基材保護のためにプラズマ溶射法によって遮熱コーティングが施されている。プラズマ溶射法では、高速高温のプラズマ流内で粒子状のコーティング材が溶融または半溶融状態まで加熱され、連続的に基材表面に衝突・堆積することで皮膜が形成される。このため、溶射皮膜の膜質ならびにその機械的特性は、溶射条件によって変化するものと考えられる。さらに、作製された皮膜が高温大気中に長時間曝露されることもまた、その特性に大きく影響を及ぼすことが知られている。しかし、そのような影響について系統的に調査した研究はこれまで見当たらない。

そこで、本研究では、溶射条件と高温曝露条件が溶射皮膜の各種特性値におよぼす影響を調べた。

2 溶射皮膜の特性調査

2.1 供試材および溶射条件と高温曝露条件 測定試料に供した材料は、トップコーティング層を部分安定化ジルコニア (8wt%Y₂O₃-ZrO₂;204NS METCO), ボンドコーティング層を CoNiCrAlY (PRAXAIR, CO-210-1), 基材をステンレス鋼とした。基材表面をブラスト処理したのちに、厚さ 0.1mm のボンドコーティング層、厚さ 1.0mm のトップコーティング層を大気プラズマ溶射によって堆積させた。溶射条件としては、

Table.1 Spray condition

	基材温度	粒子速度&温度
条件 1	高温 (600K)	中 (175m/s & 3628K)
条件 2	低温 (380K)	中 (175m/s & 3628K)
条件 3	中温 (470K)	中 (175m/s & 3628K)
条件 4	高温 (520K)	低 (146m/s & 3521K)
条件 5	高温 (600K)	高 (198m/s & 3718K)

溶射中の基材温度と、プラズマ流のエネルギーによって変化したコーティング粒子の温度・速度に関する、二つの条件とした。Table.1 に設定した条件を示す。あわせて、皮膜作製後に 973K および 1173K において 500 時間の熱時効処理を施し、高温曝露による皮膜の特性変化についても調査した。

2.2 特性調査 溶射条件・熱時効条件の異なる皮膜について、線膨張係数と四点曲げ試験による縦弾性係数の測定をおこなった。また、ビッカース硬さの測定およびその圧子によって発生したき裂長さの測定、溶射皮膜断面の顕微鏡写真による気孔率測定、四点曲げ試験による曲げ強度測定も行い、粒子の堆積形態や粒子間の密着性について調べた。さらに、ひずみゲージ法によってセラミックコーティング層の残留応力を測定した。

2.3 調査結果 測定結果を Fig.1, 2 にまとめて示す。

2.3.1. 線膨張係数 溶射条件、熱時効条件によって線膨張係数に大きな変化はみられず、それらの影響は小さいことがわかった。

Fig.1 Effect of aging on coefficient of thermal expansion.

2.3.2. 気孔率 溶射条件が気孔率に及ぼす影響においては、基材温度が高く、粒子速度が速くなるにつれて気孔率は低下していく。これに対し、熱時効によって気孔率はやや上昇するようである。これは、熱時効における高温状態において基材が熱膨張し、多数の気孔が開孔したためと考えられた。

2.3.3. き裂長さ 溶射条件がき裂長さに及ぼす影響について注目すると、基材温度においては大きな変化は認められないが、粒子速度の上昇に伴いき裂長さは小さくなった。すなわち、粒子間の密着力が上昇したといえる。これに対して、熱時効すると、973Kにおいて顕著な変化が認められる。すなわち、き裂長さが溶射条件によらず小さくなり、界面に垂直方向の粒子間の密着力が上昇した。一方、1173Kでは、As-sprayed材と同様であった。

2.3.4. ビッカース硬さ 溶射条件がビッカース硬さに及ぼす影響としては、粒子速度の上昇に伴いビッカース硬さは上昇するが、基材温度ではいったん上昇したのちに低下した。この変化傾向は熱時効後も同様であるが、熱時効によってその値は大きく上昇した。特に973Kでの熱時効による上昇は顕著であり、これは熱時効によるき裂長さの減少にみられる粒子間密着力の上昇が大きく影響したものと考えられる。

2.3.5. 縦弾性係数 溶射条件が縦弾性係数に及ぼす影響においては、基材温度では大きな変化は認められないが、粒子速度の上昇に伴って縦弾性係数は増加した。これに対して、

熱時効によって縦弾性係数はやや低下するようである。これは熱時効による気孔率上昇によって実際の断面積が低下したためと考えられる。

2.3.6. 曲げ強度 溶射条件が曲げ強度に及ぼす影響においては、基材温度・粒子速度の上昇に伴って曲げ強度は増加した。すなわち、界面に平行な方向の粒子間密着力が上昇したといえる。これに対して、熱時効すると曲げ強度は大きく低下した。これは、熱時効によって増加した気孔率や割れなど、皮膜内部の欠陥の増大によってコーティング層としての巨視的な強度が減少したためと考えられる。

2.3.7. 残留応力 溶射条件が残留応力に及ぼす影響としては、基材温度・粒子速度の上昇に伴い圧縮側への変化が認められた。また、熱時効によっても残留応力は大きく圧縮側に変化し、特に1173Kの熱時効では100MPa程度の応力変化が認められる。これは曲げ試験において負荷後に認められた永久ひずみにみられる、コーティング層の非弾性挙動に起因していると考えられる。つまり、高温状態で、基材との線膨張係数差に起因する引張応力が長時間作用することで皮膜が伸長し、室温に戻ったときに発生する熱応力が圧縮側に大きくシフトしたことによると考えられる。

3 結言(省略)

参考文献(省略)

Fig.2 Effect of aging on coating properties.