

セラミックコーティング炭化ケイ素部材の開発

2013-02-26

トーカロ株式会社

溶射技術開発研究所

[1]開発の背景

炭化ケイ素(シリコンカーバイド: SiC)は、アルミナ(Al_2O_3)など他のセラミックスと比べても硬さが高く、軽量、高剛性、低熱膨張、高熱伝導であり、耐熱性、耐摩耗性、耐食性、高温強度などにも優れた特性を有する。そのため、研磨材や耐火物にはじまり、高温耐食部材、ヒーター材、耐摩耗部材などに幅広く用いられてきた。特に、軽量・高剛性・低熱膨張を生かした大型半導体製造用の成膜装置部材や露光装置部材、耐摩耗性・耐食性を生かしたポンプ部品やメカニカルシールなどの各種摺動部材、耐熱性・耐食性を生かしたディーゼルエンジン排ガス中の微粒子捕集フィルター(DPF)などへの適用が進み、飛躍的に市場規模が拡大している。さらに最近では、高強度 SiC は宇宙用大型光学系ミラー、単結晶 SiC は次世代パワー半導体、SiC 長繊維複合材料はガスタービン高温部品への適用が開始されており、いずれも巨大市場を有する製品のキーマテリアルとして注目が高まってきている。

一方で、コーティング技術の適用分野は幅広く、使われていない分野はないと言っても過言ではないのが現状である。特に、機器の使用環境が過酷である航空・宇宙分野やエネルギー分野、また微細化が進む半導体分野や情報機器分野では、様々なコーティング技術が必須技術となっている。これらの分野では新規表面機能の追加と、さらなる高性能化を狙ったコーティング技術の開発も日進月歩の状況である。これは各分野において、機器に要求される機能が多様化・高度化してきており、既に単一材料では対応できないレベルに達しているためである。すなわち、構造強度は基材、耐食性や耐摩耗性などの表面機能はコーティングという機能分担の考え方が導入されてきている。

実際に炭化ケイ素(シリコンカーバイド: SiC)に関しても、上述したように様々な分野への適用拡大が進む中でコーティング技術の重要性が認識され、表面電気絶縁特性の付与、さらなる耐酸化性の向上、腐食性物質に対する耐反応性の向上などの表面機能付与が要求され始めている。

[2]新たに開発したセラミックコーティング炭化ケイ素部材

トーカロ株式会社(兵庫県神戸市 町垣和夫社長)溶射技術開発研究所では、セラミックコーティング炭化ケイ素部材の開発を進めている。これは炭化ケイ素(シリコンカーバイド: SiC)の表面に、アルミナ(Al_2O_3)、ムライト($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$)、イットリア(Y_2O_3) など、各種の機能性酸化物セラミックスを、高い密着力で複合化した部材である。この機能性酸化物セラミックス

層は、炭化ケイ素の表面に数 10～数 100 ミクロンの厚さの範囲で制御し、成膜することが可能である。

今回開発したセラミックコーティング炭化ケイ素部材は、大気プラズマ溶射プロセスにより製造したものである。図 1 には、SiC 製ローラー材表面へのアルミナ(Al_2O_3)のコーティング施工状況を示す。大気プラズマ溶射プロセスを採用することにより、図 2 で示すような長尺形状、大面積、また円筒構造の内外面や複雑形状構造を有するセラミックコーティング炭化ケイ素部材の供給が可能である。

図 3 には、開発したセラミックコーティング炭化ケイ素部材の断面組織写真を示す。すなわち、常圧焼結 SiC (熱膨張係数 $3\sim 4\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) の表面に、アルミナ (熱膨張係数 $7\sim 8\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$) をコーティング複合化した部材の界面付近の断面組織写真である。低熱膨張である SiC と熱膨張率の異なるセラミックコーティングを複合化するために、セラミックコーティングの気孔率を 2～5%程度に制御し、柔軟性に優れたミクロな積層構造を実現している。また、SiC とセラミックコーティングの界面には、厚さが数ミクロン程度の二酸化ケイ素(SiO_2)層を設けることで、高い密着力を実現している。この SiO_2 層は SiC と機能性氧化物セラミックスの両方に対して馴染みが良い材料であり、高い密着力が得られる。本技術開発については、SiC に関して高い技術力を有する日本ファインセラミックス株式会社(宮城県仙台市、若林俊克社長)の協力を得ている。

[3] セラミックコーティング炭化ケイ素部材の密着性評価試験の結果

図 4 には、SiC 基材上に従来方法で大気プラズマ溶射プロセスによりアルミナをコーティングした部材と、新しく開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材について密着力試験*を実施した結果を比較して示す。図から明らかなように、従来方法による炭化ケイ素基材上に形成されたアルミナコーティングの密着強度は平均値で 0.76MPa であるが、新しく開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材では密着強度が平均値で 7.4MPa と著しく向上している。すなわち、新たに開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材のコーティングの密着強度は従来の10倍程度に向上している。また、従来方法による炭化ケイ素基材上に形成されたイットリアコーティングの密着強度は平均値で 0.46MPa であるが、新しく開発したイットリアコーティング炭化ケイ素部材では密着強度が平均値で 7.9MPa と著しく向上している。すなわち、新たに開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材のコーティングの密着強度は従来の10倍以上に向上しており、はく離し難いことが分かる。

* 密着力試験:

ASTM C 633-69, JIS H 8666 で規定された最も一般的な接着剤を用いた溶射皮膜の密着力評価試験方法を採用。すなわち、直径 25mm の円盤型 SiC 基材の片面に溶射で皮膜を形成し、皮膜表面と SiC 基材裏面に接着剤を用いて引張治具を固定し、皮膜に対して垂直方向の荷重が加わるように試験機を用いて引張試験を行う。皮膜のはく離荷重を皮膜面積で除して得られる密着強度により、皮膜のはく離特性の良否を判定する。

[4] 今後の計画

新たに開発したセラミックコーティング炭化ケイ素部材は、大型半導体製造装置やリチウムイオン電池やレアアース磁性材料など各種産業用加熱・焼成装置部品への適用に有効と考えられる。今後、セラミックコーティング炭化ケイ素部材としての商品化を進めるべく、関連する企業への技術説明を開始する予定である。

今回得られたセラミックコーティング炭化ケイ素部材の技術成果は、日本セラミックス協会 2013 年春の年会(会期 2013 年 3 月 18 日(月)、会場:東京工業大学大岡山キャンパス)において発表する予定である。

以上

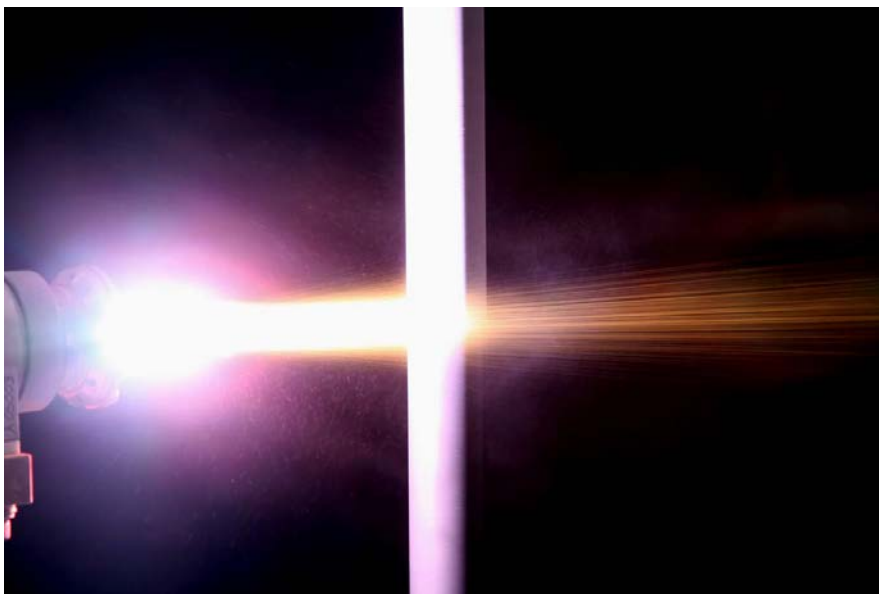


図1 大気プラズマ溶射による SiC 製ローラー材へのアルミナ (Al_2O_3) コーティング施工状況



図2 開発したセラミックコーティング炭化ケイ素部材の一例(左:コーティング前、右:コーティング後)

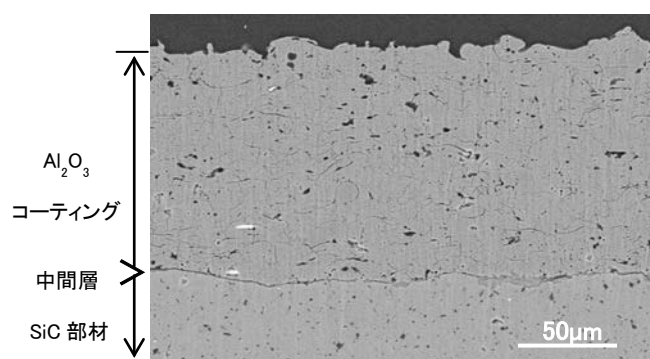


図3 開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材の断面組織写真

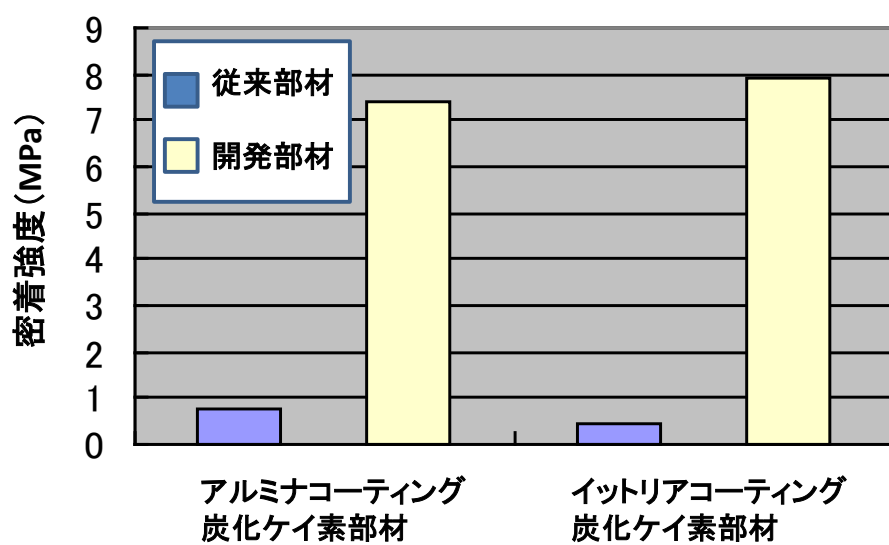


図4 セラミックコーティング炭化ケイ素部材のコーティング密着力試験の結果