

セラミックコーティング炭化ケイ素部材の開発

2014-01-31

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。しかし、この炭化ケイ素に関しても、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への適用拡大が進む中で、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が要求されている。

トーカロ株式会社(兵庫県神戸市 三船法行社長)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。しかし、セラミックコーティング炭化ケイ素部材の実機適用を進める中で、高強度が必要とされる構造部材として使用する場合があり、セラミックコーティング炭化ケイ素部材自体の曲げ強さを改善して信頼性を高める必要性が出てきた。

[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

今回、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、高いセラミックコーティングの密着力と共に、セラミックコーティング炭化ケイ素部材として高い曲げ強さを有するものである。

製造プロセスは、SiC 表面の適正な粗面化処理と大気中での酸化処理を施した後に、大気プラズマ溶射によりアルミナコーティングを施すもので、高い密着力と高い曲げ強さを両立させた。すなわち、適正な粗面化処理によりセラミックコーティング炭化ケイ素部材の曲げ強さを炭化ケイ素基材の曲げ強さレベルまで改善し、大気中での酸化処理により SiC とアルミナの界面性状を改善して高い密着力を得た。このプロセスを開発することで、大型や長尺形状物、また円筒構造の内外面など、複雑形状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となった。

図1には、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アルミナを複合化するために、アルミナ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。

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機械的特性

図 2 には、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、SiC 基材表面の粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、新しく開発した SiC 基材表面の適正な粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、それぞれについて密着力試験*を実施した結果を示す。

図から明らかなように、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の密着力は平均値 0.76MPa である。SiC 基材表面の粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の密着力は平均値 7.43MPa である。新しく開発した SiC 基材表面の適正な粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の密着強度は平均値 6.23MPa である。

以上から明らかなように、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アルミナコーティングの密着力は平均値 6.23 と十分に高く、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後にアルミナをコーティングした部材と比較して、密着力は約 8 倍に向上している。

また、図 3 には、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、SiC 基材表面の粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、新しく開発した SiC 基材表面の適正な粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材、それぞれについて曲げ試験**を実施した結果を比較して示す。

図から明らかなように、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の曲げ強さは平均値 184MPa である。SiC 基材表面の粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の曲げ強さは平均値 367MPa である。新しく開発した SiC 基材表面の適正な粗面化と大気中酸化処理を施した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材の曲げ強さは平均値で 459MPa である。

以上から明らかなように、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曲げ強さが平均値で 459MPa と十分に高く、SiC 焼結体の平均曲げ強さである 495MPa とほぼ同等の曲げ強さまで改善されている。また、SiC 基材表面をブラストで粗面化した後に大気プラズマ溶射でアルミナをコーティングした部材と比較して、曲げ強さは約 2.5 倍に向上している。

* 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。

曲げ強さ試験:

JIS R 1601-2008 で規定されたセラミックスの最も一般的な室温の曲げ強さ試験方法に準じて実施。幅 4mmX 厚さ 3mmX 長さ 45mm の短冊形 SiC 基材の片面(幅 4mmX 厚さ 3mm)に溶射で皮膜を形成して試験片を作製した。得られた試験片を 30mm 離れた 2 支点上に置き、支点間の中央から左右に 5mm 離れた距離にある二点に分けて荷重を加えて、試験片が破断したときの荷重から得られる最大曲げ強さにより、セラミックコーティング部材の強度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、現在、図 4 に示す各種の産業用加熱・焼成装置部品として適用を進めている。今後は、航空・宇宙分野やエネルギー分野などのより過酷な使用条件で使われる構造部材についても対象とし、セラミックコーティング炭化ケイ素部材の商品化を進めるべく関連する企業への技術説明を 2014 年 2 月 1 日より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 2014 年春の年会(会期 2014 年 3 月 17~19 日、会場:慶応義塾大学日吉キャンパス)において発表する予定である。

以上

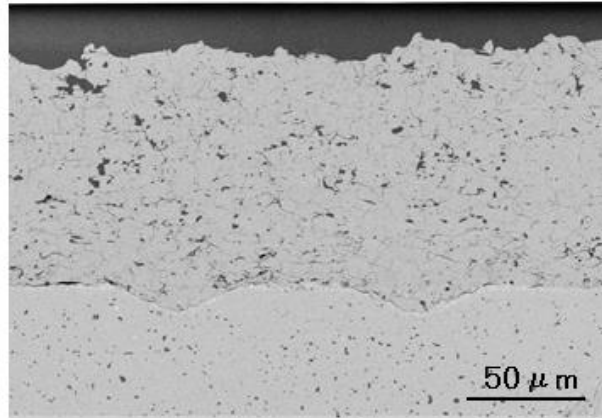


図1 新しく開発したアルミナコーティング炭化ケイ素部材の断面組織写真

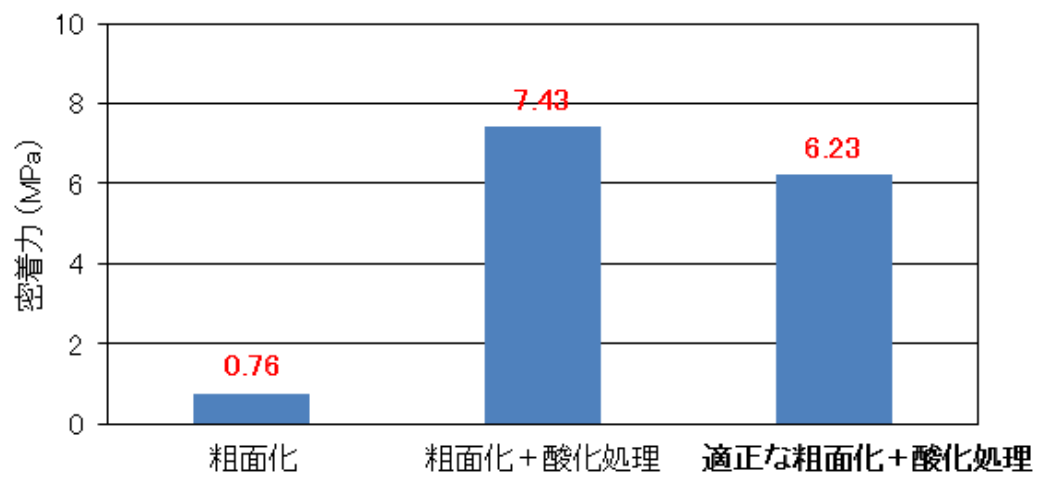


図2 アルミナコーティング炭化ケイ素部材のコーティング密着力評価結果

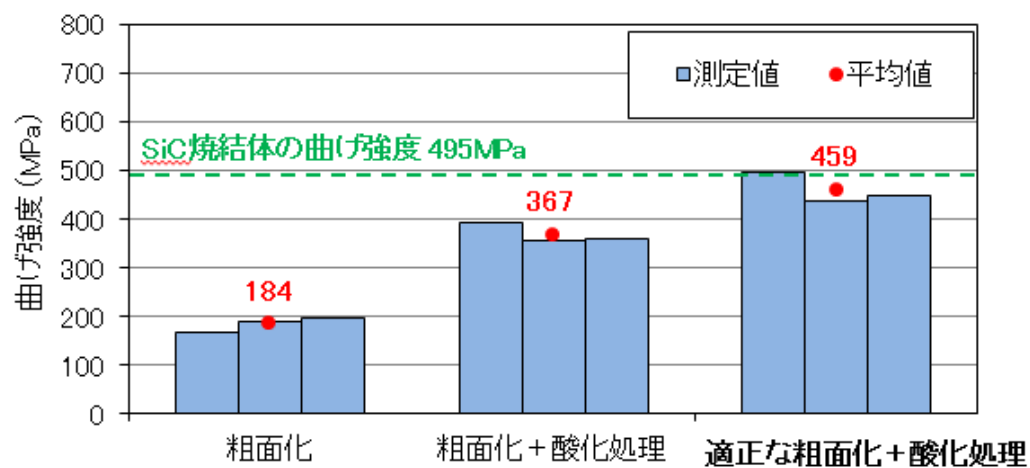


図3 アルミナコーティング炭化ケイ素部材の曲げ強さ評価結果

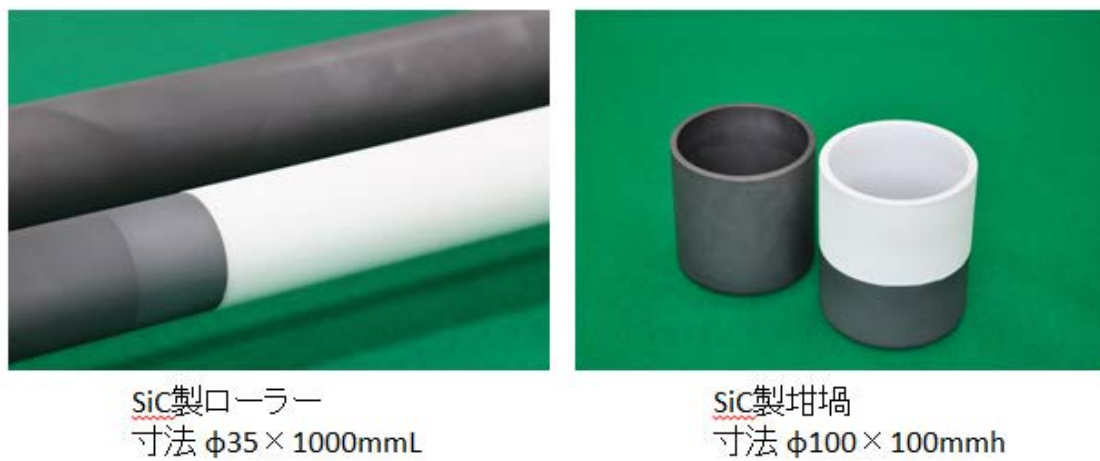


図4 アルミナコーティング炭化ケイ素部材製の各種産業用加熱・焼成装置部品