

# C<sub>f</sub>/SiC 复合材料 SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 抗氧化复合涂层研究

温海明<sup>1,2</sup>, 董绍明<sup>1</sup>, 丁玉生<sup>1</sup>, 张翔宇<sup>1</sup>, 何平<sup>1</sup>, 高乐<sup>1</sup>

(1. 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050)

(2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 硅酸铋(Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)是 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料非常理想的抗氧化涂层材料。用脉冲 CVD 法在 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料上先制备 SiC 粘附层。用溶胶凝胶法制备粒径为 200~300 nm 的单相 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 粉体, 然后用 PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 浆料浸涂法制备 SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 过渡层, 因 PCS 粘结强度大, 且热解后能在原位生成 SiC, 故能大大增加涂层的结合力。配备低粘度、高固含量的 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 浆料, 并用浆料浸涂烧结法制备致密、细晶粒的 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层。1500 °C 静态空气中氧化实验表明: SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 复合涂层具备优异的抗氧化性能。

**关键词:** C<sub>f</sub>/SiC 复合材料; 抗氧化涂层; 硅酸铋; 浆料浸涂法

中图分类号: TB332

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2009)09-1580-04

C 纤维增强 SiC (C<sub>f</sub>/SiC) 复合材料具有密度小、耐高温、高温力学性能优异、抗热冲击性能良好、耐烧蚀、抗冲刷、非脆性断裂等一系列优点, 是非常优良的高温结构材料, 广泛应用于燃气涡轮发动机热结构部件(如涡轮叶片、喷管、燃烧室内衬等)、航天飞行器热保护体系和高温连接件等领域<sup>[1]</sup>。在这些应用领域中, C<sub>f</sub>/SiC 复合材料必须在高温氧化环境中工作。然而, C<sub>f</sub>/SiC 复合材料存在 C 纤维易氧化的问题, 缺乏足够的抗氧化能力。解决此问题最有效的方法是在复合材料表面添加抗氧化涂层, 阻止氧化气体与复合材料的接触。

SiC 涂层是 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料最基本的抗氧化涂层, 其常用化学气相沉积法(CVD)制备。通常采用复合涂层来实现对 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料的氧化防护, 复合涂层体系中基本以 SiC 涂层作为最内层, 起粘附层和过渡层的作用, 而外涂层材料则各有不同。稀土硅酸盐具备非常好的耐高温性能(熔点达 2000 °C), 氧扩散率低, 与 SiC 的化学力学相容性好, 所以是 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料很理想的抗氧化涂层材料。文献中已有一些关于硅酸铋(Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)抗氧化涂层的报道<sup>[2,3]</sup>。硅酸铋(Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)相对于 Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, 具有更低的热膨胀系数(Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>的热膨胀系数为 3.5~4.5×10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>, Y<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>的为 5~6×10<sup>-6</sup> °C<sup>-1</sup>), 并且高温晶相稳定, 无同质异构现象, 因此是 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料非常理想的抗氧化涂层材料<sup>[4]</sup>。文献中已报道用等离子体喷涂法制备 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层<sup>[4]</sup>, 然而等离子喷涂设备昂贵, 成本较高,

且能否实施受基材形状约束。

本研究采用浆料浸涂烧结法制备 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 抗氧化涂层, 先用溶胶凝胶法制备亚微米级的 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 粉体, 然后用浆料浸涂烧结法在已有 CVD SiC 涂层的 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料上制备 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层, 并对涂层的显微结构和抗氧化性能进行研究。

## 1 实验

实验原料为 Yb(NO<sub>3</sub>)<sub>3</sub>·nH<sub>2</sub>O(n=6~7), 正硅酸乙酯 (TEOS) 和无水乙醇(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)等, 用溶胶凝胶法制备 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 粉, 具体工艺过程见文献[5]。将凝胶粉在 1200 °C 下煅烧 1 h 后即得到单相 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 粉体, 粉体粒径为 200~300 nm, 分散性好。

用压力辅助模压-前驱体浸渍裂解工艺制备 2D C<sub>f</sub>/SiC 复合材料, 所采用纤维增强体为二维纤维布, 聚合物前驱体为聚碳硅烷 (PCS), 具体工艺过程见文献[6]。所制得的 2D C<sub>f</sub>/SiC 复合材料表观密度为~2.1 g/cm<sup>3</sup>, 开孔率~5%。将所制得的复合材料切割并用砂纸打磨抛光, 得到尺寸为 3 mm×5 mm×40 mm 的小试条, 然后用无水乙醇超声清洗并烘干。

先在 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料上制备 SiC 涂层, 作为粘附层。SiC 涂层用脉冲 CVD 法制备, SiC 前驱体为三氯甲基硅烷 (MTS), 载气和稀释气体为 H<sub>2</sub>, 涂层沉积温度为 1050 °C, 沉积压力为 15 kPa, 详细工艺过程见文献[7]。用 SEM (JSM 6700F, JEOL) 观察涂层的表面形貌。

收稿日期: 2008-10-11

基金项目: 国家 863 项目 (2006AA03Z565); 国家自然科学基金 (50472015)

作者简介: 温海明, 男, 1984 年生, 硕士生, 中国科学院上海硅酸盐研究所, 上海 200050, 电话: 021-52415207, E-mail: wenhaiming1984@mail.sic.ac.cn; 通讯作者: 董绍明, 研究员, 博士生导师, 电话: 021-52414324, E-mail: smdong@mail.sic.ac.cn

首先配备PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料,将PCS、纳米碳化硅粉(粒径约为50 nm)、Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>粉和汽油混合,用SiC球磨混料6 h,得PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料。其中,PCS:SiC:Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> = 2:1:7(质量比),浆料固含量(SiC+Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>)/浆料总重=40%(质量分数,下同)(PCS溶于汽油中)。用此浆料浸涂已有SiC涂层的2D C<sub>f</sub>/SiC复合材料试样,在空气中干燥后,在真空碳管炉中1300 °C下热处理(主要为PCS的裂解)。之后将上述浸涂裂解过程再重复1次,得到SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层。用SEM观察涂层的表面形貌。

然后配备Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料,以乙醇为分散介质,浆料固含量为60%,调节浆料pH至2~3,并加入分散剂PEG(PEG/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>=1%)和粘结剂PVP(PVP/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>=0.8%)。用此浆料浸涂已有SiC和SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层的2D C<sub>f</sub>/SiC复合材料试样,在空气中干燥后,在真空碳管炉中1300 °C下烧结。之后将上述浆料浸涂烧结过程再重复1次,得到Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层。用SEM观察涂层的表面和横截面形貌。

对无涂层C<sub>f</sub>/SiC、SiC涂层C<sub>f</sub>/SiC、SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>复合涂层C<sub>f</sub>/SiC在1500 °C静态空气中进行氧化实验。每隔5 h从炉中取出试样,直接放置于室温空气中冷却,然后用感量为0.1 mg的电子天平称重,按氧化后质量变化百分率来评价涂层抗氧化能力。利用下式计算氧化质量变化率:

$$\Delta m = (m_1 - m_0) / m_0 \times 100\% \quad (1)$$

式中 $\Delta m$ 为氧化质量变化率, $m_0$ 和 $m_1$ 分别是试样氧化前和氧化后的质量。

并用SEM观察氧化后试样表面和断面形貌。

## 2 结果与讨论

### 2.1 涂层的显微结构

脉冲CVD法所制备的SiC涂层表面SEM照片如图1所示。可以看出,所制备的SiC涂层非常致密,且没有裂纹。涂层由无数个大小为几微米的球状SiC团聚体颗粒组成,颗粒之间没有间隙。每个SiC颗粒其实是由大量纳米级的SiC晶粒组成。脉冲CVD法相对于常规的等温等压低压CVD法(LPCVD),具有可以增加涂层与基体结合强度、减少涂层制备缺陷的优点<sup>[7]</sup>。

因为采用脉冲CVD法制得的SiC涂层非常致密,不利于后续的Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料浸涂,进而影响到Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层与SiC涂层的结合强度,故在Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层与SiC涂层之间增加一层SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>过渡层。此过渡层用PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料浸涂烧结法制备,PCS是一种有机聚合物,溶于汽油,干燥后粘结强度很大,可以使Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>颗粒牢固地粘附在已有SiC涂层的C<sub>f</sub>/SiC复合

材料上。PCS经热处理后发生裂解,800 °C时裂解产物主要为无定形的SiC,随着温度的升高,SiC逐渐晶化,到1300 °C时,PCS裂解产物基本上为晶态的SiC<sup>[6]</sup>。为了防止涂层在使用过程中非晶SiC发生晶化而引起体积收缩导致涂层开裂,本实验中PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层的热处理温度为1300 °C,以使PCS裂解得到晶态的SiC,最后得到SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层。PCS的引入,实现了SiC陶瓷相的原位生成,可以大大提高涂层的结合强度。然而,PCS在热解过程中会释放出气体,且伴随较大的体积收缩,在裂解产物中产生较高的气孔率。加入SiC粉的目的是为了降低PCS的百分含量,减小涂层在热处理过程中的体积收缩。在1300 °C热处理过程中,Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>颗粒也发生一定程度的烧结,但因PCS的裂解和非氧化物SiC相的存在,Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>的烧结在很大程度上被抑制。SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层的表面显微照片中可以看出(图2),涂层中存在很多的孔隙。此照片为背散射电子成像,照片中白色的相为Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>,灰色的成分为SiC。孔隙率较大的SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层有利于后续的Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料的浸涂,可以提高Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层与SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层的结合强度。另外,SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层从成分上也为SiC涂层和Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层之间提供了过渡,也有利于内外涂层之间结合强度的提高。

用Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>浆料浸涂烧结法所制得的SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>复合涂层的表面和横截面的显微照片如图3所示。从

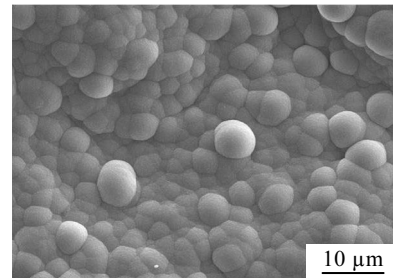


图1 脉冲CVD SiC涂层表面形貌

Fig.1 Surface morphology of SiC coating prepared by Pulse CVD

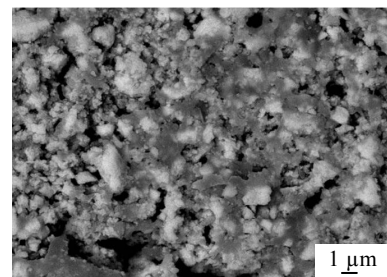


图2 SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>涂层表面形貌

Fig.2 Surface morphology of SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> coating

图 3a 及 3b 可以看出, 所得涂层很致密且没有裂纹, 经过烧结后涂层中的  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  晶粒的尺寸仍小于  $1\ \mu\text{m}$ 。小尺寸的晶粒有利于涂层抗热震性能的提高。从横截面照片(图 3c)可以看出(背散射电子照片), 从左到右(从外到内)分别为  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层、 $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层、 $\text{SiC}$  涂层和基体  $\text{C}_f/\text{SiC}$  复合材料。 $\text{SiC}$  涂层厚度约为  $15\ \mu\text{m}$ , 与基体结合非常牢固。 $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层与  $\text{SiC}$  涂层结合很好。 $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层与  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层之间的分界线很模糊, 这是因为两者结合非常好, 而且成分上差异不大( $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层中  $\text{SiC}$  含量小于 30%, 且  $\text{SiC}$  中  $\text{C}$  的原子序数比  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  中的  $\text{Yb}$  小得多, 背散射电子成像主要由  $\text{Yb}$  决定)。不过, 中间的  $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层与外层的  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层相比, 颜色要稍微更灰一点, 这是因为  $\text{SiC}$  在此照片中是灰色的。 $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层与  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层的总厚度约为  $20\ \mu\text{m}$ , 说明每次浸涂烧浆料所得涂层厚度约为  $5\ \mu\text{m}$ 。因为浆料浸涂法所得涂层在干燥烧结过程中因溶剂挥发等原因收缩较大, 因此必须控制单层涂层的厚度, 以防止涂层在干燥烧结过程中开裂。要制备更厚的涂层, 可增加浆料浸涂烧浆料的次数。单层涂层的厚度主要通过浆料的粘度来控制,  $\text{PCS-SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  浆料的粘度主要通过固含量来控制, 而  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  浆料的粘度则与  $\text{pH}$ 、分散剂、粘结剂和固含量都有关系。通过调节  $\text{pH}$  值和使用合适的分散剂和粘结剂并控制用量, 本实验中得到了稳定、粘度低而固含量高的  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  乙醇浆料。低粘度有利于控制涂层的厚度, 高固含量(即溶剂含量低)可以减少涂层在干燥烧结过程中的收缩, 避免涂层开裂。使用乙醇作为分散介质, 是因为乙醇的表面张力小, 可以减小涂层在

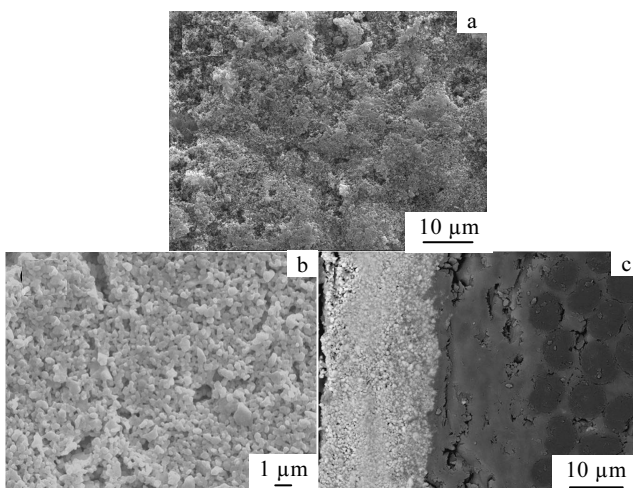


图 3  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样表面和横截面 SEM 照片  
Fig.3 SEM images of  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  multilayer coating: (a) surface in low magnification, (b) surface in higher magnification, and (c) cross section

干燥收缩过程中产生的应力。

### 2.2 涂层的抗氧化性能

未涂层  $2\text{D C}_f/\text{SiC}$  复合材料试样、脉冲 CVD  $\text{SiC}$  涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样和  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样在  $1500^\circ\text{C}$  静态空气中的氧化质量变化率和氧化时间的关系曲线如图 4 所示。可以看出, 没有涂层的  $\text{C}_f/\text{SiC}$  表现出很大的氧化失重。具有  $\text{SiC}$  涂层的  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样的氧化失重率随着时间的延长逐渐增大, 氧化 25 h 后, 失重率达到 5%。由于  $\text{SiC}$  涂层及其氧化产物  $\text{SiO}_2$  膜的保护, 氧气很难扩散进入复合材料。然而,  $\text{SiO}_2$  氧化膜的完整性和有效性是保证 CVD  $\text{SiC}$  涂层氧化防护能力的关键, 而  $\text{SiO}_2$  氧化膜中应力的产生以及  $\text{SiC/SiO}_2$  界面上孔洞和间隙的出现大大影响到氧化膜的完整性和有效性, 最终导致  $\text{SiC}$  涂层的氧化防护能力下降<sup>[8]</sup>。 $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层试样在静态空气中基本没有氧化失重, 在氧化 25 h 后质量基本恒定, 说明涂层抗氧化性能优异。

图 5 为复合涂层经 25 h 氧化、10 次热震后的表面形貌。从中可以看出, 涂层没有裂纹, 说明其抗热震性能优异。 $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  与  $\text{SiC}$  热膨胀系数非常接近, 中间过渡层  $\text{SiC-Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层孔隙率较高, 外层  $\text{Yb}_2\text{SiO}_5$  涂层中的晶粒很小, 这些因素都有利于复合涂层抗热震性能的提高。

图 6 为  $\text{C}_f/\text{SiC}$  复合材料试样和  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样在  $1500^\circ\text{C}$  静态空气中氧化 25 h 后的断面形貌。可见, 没有涂层的复合材料氧化后  $\text{C}$  纤维基本完全被消耗, 在断面上留下了一个个孔洞。而  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  试样中的  $\text{C}$  纤维完全没有发生氧化, 并且断面拔出的  $\text{C}$  纤维很长, 说明试样在氧化试验后韧性没有降低, 这表明  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层除了抗氧化性能优异外, 还起到了一定的热障涂层的作用, 因而使得复合材料经历高温后力学性能不下降。

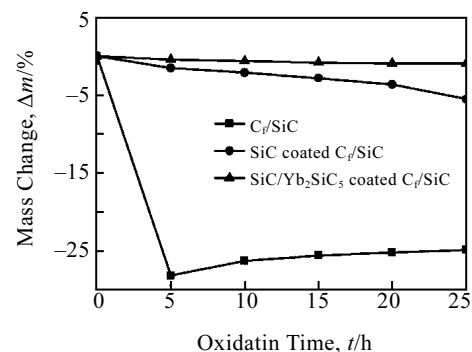


图 4  $\text{C}_f/\text{SiC}$ 、 $\text{SiC}$  涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  和  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  复合涂层  $\text{C}_f/\text{SiC}$  在  $1500^\circ\text{C}$  空气中的氧化失重曲线

Fig.4 Oxidation curves of uncoated  $\text{C}_f/\text{SiC}$ ,  $\text{SiC}$  coated  $\text{C}_f/\text{SiC}$ , and  $\text{SiC/Yb}_2\text{SiO}_5$  coated  $\text{C}_f/\text{SiC}$  samples at  $1500^\circ\text{C}$  in air

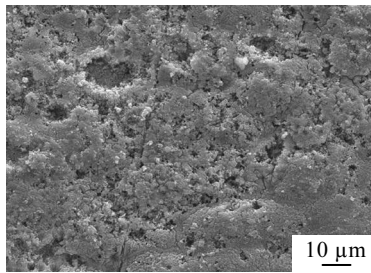


图5 SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 复合涂层 C<sub>f</sub>/SiC 试样经氧化热震后表面形貌

Fig.5 Surface morphology of SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> multilayer coating after oxidation and thermal shock

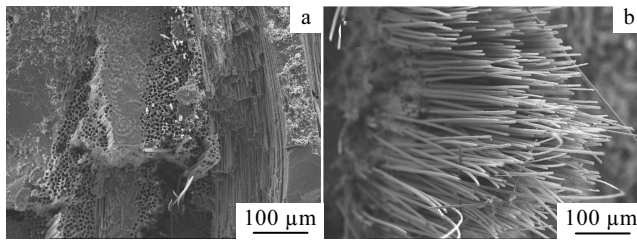


图6 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料和 SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 复合涂层 C<sub>f</sub>/SiC 试样在 1500 °C 氧化 25 h 后断面形貌

Fig.6 Fracture surface micrographs of uncoated C<sub>f</sub>/SiC (a) and SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> coated C<sub>f</sub>/SiC (b) after oxidation 25 h at 1500 °C

### 3 结 论

1) 用 PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 浆料浸涂法在已有 CVD SiC 涂层的 C<sub>f</sub>/SiC 复合材料上制备 SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 过渡

层时, SiC 有机先驱体 PCS 的引入能大大增加涂层的结合力。

2) 亚微米级 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 粉体的使用可以降低涂层的烧结温度, 提高其致密性。

3) 孔隙率较大的 SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层有利于后续的 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 浆料的浸涂, 可以提高 Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层与 SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 涂层的结合强度。1500 °C 静态空气中氧化试验表明 SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> 复合涂层具有优异的抗氧化性能。

### 参考文献 References

- [1] Naslain R. *Compos Sci Technol* [J], 2004, 64: 155
- [2] Huang Jianfeng *et al.* *Ceram Int*[J], 2006, 32: 417
- [3] Huang Jianfeng *et al.* *Ceram Int*[J], 2007, 33: 887
- [4] Lee K N, Fox D S, Bansal N P. *J Eur Ceram Soc*[J], 2005, 25(10): 1705
- [5] Wen Haiming *et al.* *J Am Ceram Soc*[J], 2007, 90 (12): 4043
- [6] Ding Yusheng(丁玉生). *Preparation and Properties of Fiber Reinforced Silicon Carbide Matrix Composites by Pressure Assisted Technology*(纤维增强碳化硅基复合材料的压力辅助制备及性能研究) [D]. Shanghai : Shanghai Institute of Ceramics, 2007: 51
- [7] Wen Haiming(温海明), Dong Shaoming(董绍明), Zhou Qing(周清) *et al.* *Proceedings of the 15th International Conference on Composites Engineering* (第15届复合材料/纳米工程国际会议论文集) [C]. Haikou: [s.n], 2007: 1077
- [8] Cheng Laifei, Xu Yongdong, Zhang Litong *et al.* *Carbon* [J], 2002, 40: 2229

## SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> Multilayer Coatings for Oxidation Protection of C<sub>f</sub>/SiC Composites

Wen Haiming<sup>1,2</sup>, Dong Shaoming<sup>1</sup>, Ding Yusheng<sup>1</sup>, Zhang Xiangyu<sup>1</sup>, He Ping<sup>1</sup>, Gao Le<sup>1</sup>

(1. Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, China)

(2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

**Abstract:** Ytterbium silicate (Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>) is a promising oxidation protective coating material for C fiber-reinforced SiC (C<sub>f</sub>/SiC) composites. Firstly, the SiC bond coat was prepared on C<sub>f</sub>/SiC composites by pulse CVD. The single-phase Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> powders of 200~300 nm in size were synthesized by sol-gel process. Then for the first time, the SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> intermediate coat was applied on the SiC coated C<sub>f</sub>/SiC composites through PCS-SiC-Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> slurry application. The incorporation of PCS could significantly improve the adhesion of the coating because of the great stickiness of PCS and its ability to form SiC ceramic in situ after pyrolysis. The Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> slurry with low viscosity and high solid content was prepared, and the dense Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> top coat with fine crystallites was fabricated by dip-coating and subsequent sintering. The oxidation tests at 1500 °C in stationary air indicate that the fabricated SiC/Yb<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub> multilayer coatings possess a outstanding oxidation resistance.

**Key words:** C<sub>f</sub>/SiC composites; oxidation protective coating; ytterbium silicate; slurry application

Biography: Wen Haiming, Candidate for Master, Shanghai Institute of Ceramics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200050, P. R. China, Tel: 0086-21-52415207, E-mail: wenhaiming1984@mail.sic.ac.cn; Corresponding Author: Dong Shaoming, Researcher, Professor, Tel: 0086-21-52414324, E-mail: smdong@mail.sic.ac.cn