

CVD-SiC 纤维的拉曼光谱研究

刘 斌, 杨延清*, 罗 贤, 黄 斌

西北工业大学凝固技术国家重点实验室, 陕西 西安 710072

摘 要 采用激光拉曼光谱对单根 CVD-SiC 纤维进行了研究, 并与 $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ 复合材料中 SiC 纤维的拉曼光谱进行对比分析。发现 SiC 纤维的第一沉积层的 TO 峰峰形尖锐, 表明 SiC 晶粒较大, 第二沉积层的晶粒较小, 在二个沉积层中分别检测到碳和硅的拉曼峰。在复合材料中, SiC 纤维的 TO 峰向高波数偏移, 表明复合材料在制备过程中, 因 SiC 与基体钛合金的热膨胀系数不同而使纤维受到热残余应力的作用。通过计算得到复合材料中纤维的热残余应力平均值为 318 MPa, 第一沉积层所受平均应力为 436 MPa, 远高于第二沉积层。

关键词 SiC 纤维; 钛基复合材料; 拉曼光谱; 热残余应力

中图分类号: TQ343.6 文献标识码: A DOI: 10.3964/j.issn.1000-0593(2011)11-2956-05

引 言

SiC 纤维增强 Ti 基复合材料(SiC_f/Ti)在航空航天领域有重要应用前景, SiC_f/Ti 基复合材料的性能与 SiC 纤维的成分、结构、残余应力等因素密切相关^[1]。对 SiC 的表征通常采用扫描电镜、透射电镜等^[2], 可以得到 SiC 纤维的成分和组织结构的信息。近年来, 激光拉曼光谱仪的广泛应用, 为 SiC 纤维的研究提供了一个有力的工具, Kim 等^[3]用拉曼光谱仪研究了 SiC 纤维中 Si 的存在形式。利用拉曼光谱不仅可以快速得到材料的组织结构, 还能获得物相的相对含量、晶粒的结晶度以及材料中的应力状态^[4, 5]。众所周知, 在复合材料的制备过程中, 由于 SiC 纤维与钛合金基体的热膨胀系数(CTE)的差异, 导致了材料由高温冷却至室温时, 不可避免的产生热残余应力, 弄清楚热残余应力的分布及大小对 SiC_f/Ti 基复合材料的应用至关重要, 这方面的研究多采用计算机有限元模拟的方法^[6, 7]。X 射线衍射^[8-10]或中子衍射^[11]仅能测到试样的平均应力, 无法得到其应力分布, 因而模拟计算结果无法得到实验的验证。本文对单根 SiC 纤维以及 $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ 复合材料中的 SiC 纤维进行激光拉曼光谱研究, 以期得到本课题组制备的 SiC 纤维的结构、成分以及热残余应力分布。

1 实验部分

1.1 实验样品制备

SiC 纤维由化学气相沉积法(CVD)在钨芯上沉积 SiC 得到, 钨芯直径 10 μm , SiC 的沉积在二个沉积室中进行, 分别称为第一和第二沉积层, SiC 的总厚度约 50 μm 。SiC 纤维的杨氏模量为 405 GPa, 泊松比为 0.17。 $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ 复合材料采用箔/纤维/箔法真空热压制成, 其中 Ti-6Al-4V 箔材厚度 60 μm , 热压温度为 925 $^{\circ}\text{C}$, 压力为 75 MPa, 时间为 1 h。

1.2 实验仪器及方法

拉曼光谱研究采用英国 Renishaw 的 inVia Reflex 型显微共聚焦激光拉曼光谱仪进行。在实验前, 用单晶 Si 做仪器的状态检测, 测得 Si 的拉曼频移为 520 cm^{-1} , 可知仪器状态良好。样品经过抛光处理后, 置于 X-Y 自动平台上, 在 Leica 显微镜下选取实验区域。实验在室温下进行, 选用 Ar^+ 单色激光器作为入射光源, 激光波长 514 nm, 功率 5 mW, 沿 Z 轴负向照射样品, 样品表面平行于 X-Y 平面, 偏振方向平行于 y 轴, 如图 1 所示。调好焦距, 激光光束可聚焦到 1 μm 。激光与样品相互作用后, 沿 Z 轴正向的散射光进入主机的光路系统, 经过共焦模式和光栅分光, 再由 CCD 接收信号并传到电脑上。对纤维及复合材料中的纤维均采用线扫模式, 扫

收稿日期: 2010-08-31, 修订日期: 2010-11-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(50871086, 51071122), 航空基金项目(2009ZF53062), 中国博士后科学基金项目(20090451393)和凝固技术国家重点实验室自选课题基金项目(KP200906)资助

作者简介: 刘 斌, 1986 年生, 西北工业大学凝固技术国家重点实验室硕士研究生 e-mail: liubins37@126.com

* 通讯联系人 e-mail: yqyang@nwpu.edu.cn

描范围为 $100 \sim 2\,000\text{ cm}^{-1}$, 相邻两点间隔 $1\text{ }\mu\text{m}$ 。

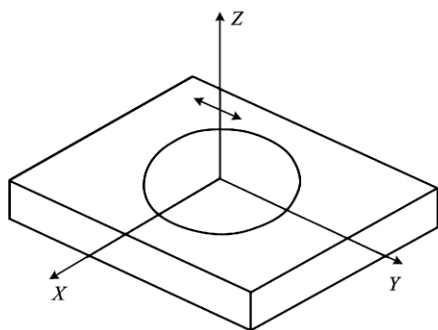


Fig 1 Space coordinate and the polarization direction of laser

2 结果与讨论

2.1 SiC 纤维的拉曼光谱

以钨芯边缘为起点, 沿与 y 轴相平行的径向到纤维表面, 对纤维进行线扫描。图 2 是由所有点的拉曼光谱组合而成的 3D 图。从图中可以观察到随着距钨芯距离的增加, 不同位置的光谱有明显的变化。在距离钨芯 $23\text{ }\mu\text{m}$ 的范围内, SiC 的横向光学声子模 (TO 峰) 先逐渐变强, 在 $13\text{ }\mu\text{m}$ 时达到最大, 之后强度逐渐变弱。在低波数处的声学声子模也有相应的变化。距离钨芯 $23 \sim 28\text{ }\mu\text{m}$, TO 峰相对强度变弱, 且波形与先前区别较大, 在 CVD 法制备纤维时, 有两次沉积过程, 可以判断出这个 $5\text{ }\mu\text{m}$ 的区域为两次沉积的中间过渡层。继续沿径向向外, 在厚度为 $22\text{ }\mu\text{m}$ 的区域内, SiC 的声学声子模和光学声子模波形及相对强度一直保持一致, 这个区域为第二次沉积的 SiC 层。最外面的高背底波谱是固定纤维的环氧树脂引起的, 它的出现说明实验要获得的光谱数据, 已经采集完毕。

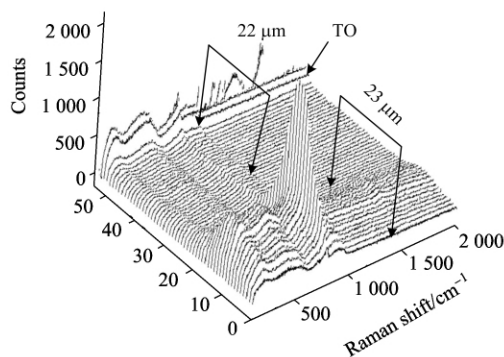


Fig 2 A 3D figure gets from a sequence of Raman spectrum

考虑到第一 SiC 沉积层的光谱变化较大, 选择了三个点的光谱进行分析, 分别是距钨芯 $1, 10$ 和 $20\text{ }\mu\text{m}$ 。在过渡层和第二 SiC 沉积层再各自选择一个点, 这五个点的光谱在图 3(a) 中给出。在单晶 3C-SiC 中, 仅有波矢 $q=0$ 的声子是拉曼激活的, 此时存在两个尖锐的波峰, 分别是位于 796 cm^{-1} 的 TO 峰和位于 972 cm^{-1} 的纵向光学声子模 (LO 峰)。与单晶不同, 在由 CVD 法制备的 SiC 纤维中, 两个光学支的峰位有所偏移, 本实验所得纤维的两个峰分别位于 786 和 960

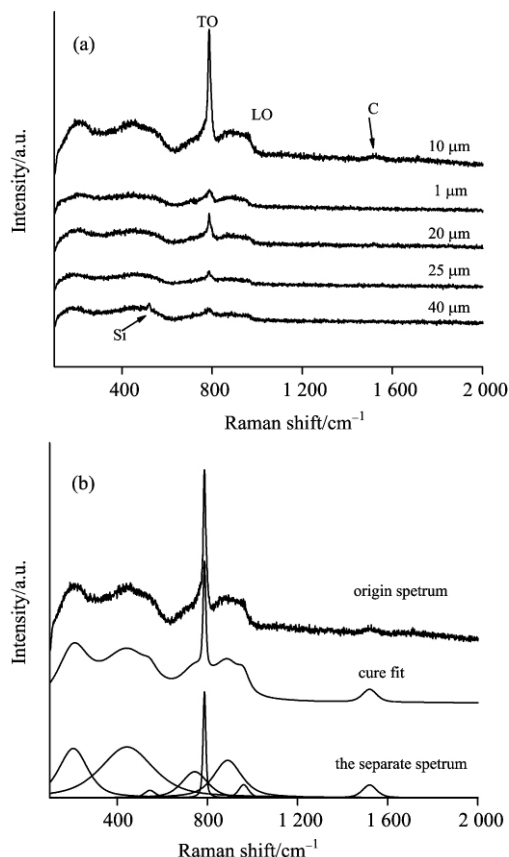


Fig 3 Raman spectrum of SiC obtained from different positions along the radial of the fiber

(a): Five different spectra;

(b): The curve fit wave of $10\text{ }\mu\text{m}$ distance position

cm^{-1} 附近。原因在于: 当材料不是单晶时, 会受到晶粒大小, 层错, 结晶度等因素制约, 使声子在 Δq 范围内都变成拉曼激活, 从而使拉曼波峰向低波数移动, 同时发生非对称的展宽^[12, 13]。在距钨芯 $1\text{ }\mu\text{m}$ 处得到的光谱有相对较强的 TO 峰, 但峰的展宽明显, 对称性比较差。波数较高的 LO 峰展宽更加严重, 强度比 TO 弱。表明 SiC 的结晶度不好, 晶粒尺寸小, 并且存在无定形的 SiC^[14]。在 $100 \sim 600\text{ cm}^{-1}$ 之间出现了宽化的折叠声子模, 这种模式在 3C-SiC 中是非拉曼激活的, 它们的出现说明纤维中还存在 SiC 的多晶型^[15]。随着距钨芯的距离增大, TO, LO 和折叠声子模的强度都在增强, 在 $10\text{ }\mu\text{m}$ 处强度最强, 使用高斯-洛伦兹法对该点的光谱做拟合分峰, 所得结果如图 3(b) 所示。位于顶部的是实验采集的波谱, 中间的谱线是拟合后的, 可以看出两者匹配的很好, 底部的是分出的 8 个波峰。可以分辨的 LO 峰的强度增强, 展宽变小。对称性变好的 TO 峰说明此处的 SiC 晶粒比其他区域的尺寸大、结晶度好、层错等缺陷少。表征无定形 SiC 的峰位于 890 cm^{-1} , 展宽较大。低波数的折叠声子模依然出现表明 SiC 的多晶型仍存在。位于 $1\,520\text{ cm}^{-1}$ 的峰是碳的 D' 峰, 该峰的出现说明碳是以无序形态存在的。考虑到碳的拉曼散射要比 SiC 的拉曼散射容易测得^[16], 加上谱线中碳峰的强度远弱于 SiC 的强度, 可以判断出纤维中碳的含量极

少。到 20 μm 处, TO 峰强度减弱, 且波形宽化, 预示 SiC 的晶粒尺寸变小, 情况与 1 μm 处的类似。在 25 μm 时, TO 峰的强度和低波数的折叠声子模相当, 波形更加宽化, 表明过渡层的晶粒尺寸已经很小, 存在较多的层错, 无序度较大。进入第二 SiC 沉积层后, 折叠声子的强度已经超过了 TO 峰的强度且 TO 峰严重宽化, 对称性弱。SiC 晶粒进一步细化, 晶界、层错增多, 外层变的无序。观察到硅位于 519.6 cm^{-1} 的峰, 可断定第二沉积层中含有晶态的 Si。在过渡层和第二沉积层均未得到碳的信号。碳和硅的不同分布, 与纤维的制备工艺密切相关。

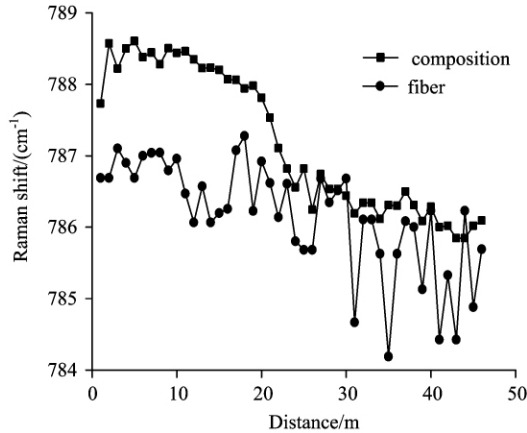


Fig 4 The relation between Raman shift of TO peak and station under two different conditions

$$\begin{vmatrix} p\epsilon_x + q(\epsilon_y + \epsilon_z) - \lambda & 2\gamma_{xy} & 2\gamma_{xz} \\ 2\gamma_{yx} & p\epsilon_y + q(\epsilon_x + \epsilon_z) - \lambda & 2\gamma_{yz} \\ 2\gamma_{zx} & 2\gamma_{zy} & p\epsilon_z + q(\epsilon_x + \epsilon_y) - \lambda \end{vmatrix} = 0 \quad (2)$$

其中 p , q 和 r 是声子变形电压, ϵ_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) 为应变张量分量。3C-SiC 的应力-应变关系为

$$\begin{pmatrix} \epsilon_x \\ \epsilon_y \\ \epsilon_z \\ \gamma_{xy} \\ \gamma_{xz} \\ \gamma_{yz} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_x \\ \sigma_y \\ \sigma_z \\ \sigma_{xy} \\ \sigma_{xz} \\ \sigma_{yz} \end{pmatrix} \quad (3)$$

式中下标与图 1 中的坐标系一致。立方结构的柔度系数 $S_{11} = S_{22} = S_{33}$, $S_{12} = S_{21} = S_{13} = S_{31} = S_{23} = S_{32}$, $S_{44} = S_{55} = S_{66}$ 。考虑到纤维的轴对称性, 对式(3)进行简化处理: $\sigma_x = \sigma_y$; $\sigma_z = 0$; $\tau_{xy} = \tau_{xz} = \tau_{yz} = 0$ 。化简后得到

$$\epsilon_x = \epsilon_y = S_{11}\sigma_x + S_{12}\sigma_x \quad (4)$$

$$\epsilon_z = 2S_{12}\sigma_x \quad (5)$$

将式(4)和(5)代入(2)得

$$\lambda_1 = \lambda_2 = (pS_{12} + pS_{11} + 3qS_{12} + qS_{11})\sigma_x \quad (6)$$

$$\lambda_3 = (2pS_{12} + 2qS_{12} + 2qS_{11})\sigma_y \quad (7)$$

久期方程的特征值 λ_1 , λ_2 与 TO 峰相关, λ_3 与 LO 峰相关^[17]。选择 TO 峰做计算, 将式(6)代入等式(1)得

$$\Delta\omega_1 = (pS_{12} + pS_{11} + 3qS_{12} + qS_{11})\sigma_x / 2\omega_{10} \quad (8)$$

Dipankar Ghosh^[18] 给出了 SiC 的声子变形电压: $p = -0.623 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$, $q = -2.634 \times 10^6 \text{ cm}^{-2}$ 。柔度矩阵参数

2.2 SiC_f/Ti-6Al-4V 基复合材料中 SiC 纤维的应力

对 SiC_f/Ti-6Al-4V 复合材料中的 SiC 纤维进行拉曼光谱采集, 实验条件与单根纤维的相同。考虑到 SiC 纤维拉曼光谱的 TO 峰比 LO 峰更尖锐, 在测量光谱的频移时, 能更好的减少人为误差, 因此选用 TO 峰的值进行计算。图 4 给出了在两种状态下, 纤维的 TO 峰频移随距钨芯距离变化的情况。

从图 4 可以看出: SiC_f/Ti-6Al-4V 复合材料中 SiC 纤维的 TO 峰向高波数移动, 在第一沉积层, 与单纤维中的存在较大的差值, 随着与钨芯距离的增加, 这个差值逐渐变小, 在过渡层二者的差值变的很小。从图 4 还可看出复合材料中 SiC 的 TO 峰位波动很小, 差值在 0.5 cm^{-1} 内, 但在单根纤维中, TO 峰的峰位起伏达 2 cm^{-1} 。这种现象与 SiC 纤维的受力状态有关, 在复合材料中, 纤维由于受到热残余应力的作用, 而使得纤维内部原本杂乱的本征应力趋于一致。下面, 我们对复合材料中因增强相与基体的 CTE 不同而产生的热残余应力做定量的分析。

材料在受到应力作用时, 与之对应的拉曼光谱会发生一定的变化: 当材料受压应力时, 拉曼峰位会向高波数移动; 当材料受拉应力时, 拉曼峰位会向低波数移动。材料受力前的拉曼波数为 ω_{j0} ($j=1, 2, 3$), 受力后的拉曼波数为 ω_j , 受力前后的波数存在如下关系^[18]

$$\Delta\omega_j = \omega_j - \omega_{j1} \approx \lambda_j / \lambda_{j0} \quad (1)$$

式中 λ_j 是久期方程的特征值, 对于具有闪锌矿结构的 SiC 其形式为

S_{11} , S_{12} 由纤维的杨氏模量和泊松比计算得出: $S_{11} = 2.67 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$, $S_{12} = -0.42 \times 10^{-12} \text{ Pa}^{-1}$ 。将这些数值代入式(8), 并移项得

$$\sigma_x = -0.393\Delta\omega_1 \times \omega_{10} \text{ (MPa)} \quad (9)$$

误差为 $\pm 12 \text{ MPa}$, 式中符号表明当纤维的 TO 峰移向高波数时, 它所受的应力为压应力。结合图 4 中的实验数据, 可得复合材料中纤维的径向应力大小及分布, 如图 5 所示。

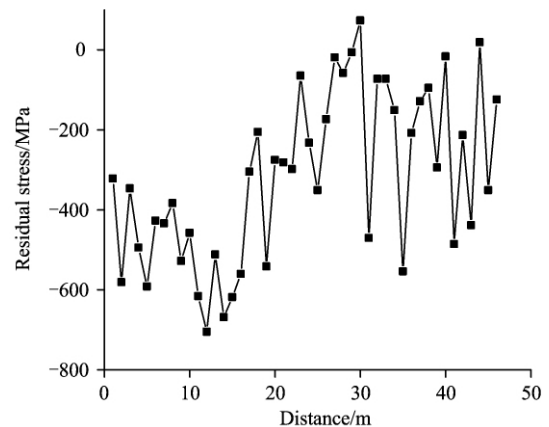


Fig 5 The magnitude and distribution of thermal residual stress along the radial direction of the fiber in composite

在复合材料中第一 SiC 沉积层所受压应力较大, 其平均值为 436 MPa。这和该区域的 SiC 晶粒的尺寸有关, 大晶粒相互挤压时, 沿径向的力被分散的少, 大部分应力是沿纤维径向的。过渡层的平均压应力只有 121 MPa, 造成这样的原因有两个: 一是晶粒尺寸小; 二是由包括层错在内的各种缺陷导致的混乱增大。它们的存在都使得沿径向的应力严重分散。第二 SiC 沉积层的晶粒尺寸小且趋于一致, 混乱度减小, 其平均压应力为 228 MPa。整个纤维所受的平均应力为 318 MPa, 这个值比过渡层和第二沉积层的平均值要大, 可知在复合材料中纤维的残余应力主要集中在第一沉积层。

3 结 论

通过对单根 SiC 纤维和 $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ 复合材料中 SiC

纤维的拉曼光谱的研究, 得到了以下结论:

(1) 由 CVD 法制备的 SiC 纤维沿径向分为厚度为 $23\ \mu\text{m}$ 的第一沉积层, 约 $5\ \mu\text{m}$ 厚的过渡层和厚 $22\ \mu\text{m}$ 的第二沉积层。第一沉积层中的 SiC 晶粒较大, 结晶度好, 层错等缺陷较少, 存在少量的无定形碳。在过渡层中的 SiC 晶粒尺寸变小, 缺陷增多。进入第二沉积层后, 拉曼波形趋于一致, SiC 的晶粒较小, 且大小均匀, 存在晶态硅。

(2) 在 $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ 复合材料中的 SiC 纤维中存在残余压应力, 平均值为 318 MPa。在晶粒尺寸较大的第一沉积层, 残余压应力的平均值为 436 MPa; 在过渡层, 平均值为 121 MPa; 在第二沉积层, 平均值为 228 MPa。

References

- [1] Rangaswamy P, Bourke M A M, Wright P K. Materials Science and Engineering A, 1997, 224(1-2): 200.
- [2] ZHANG Rong-jun, YANG Yan-qing, SHEN Wen-tao(张荣军, 杨延清, 沈文涛). Journal of Inorganic Materials(无机材料学报), 2010, 25(8): 840.
- [3] Kim J, Tlali S, Jackson H E. Applied Physics Letters, 1996, 68(17): 2352.
- [4] Ward Y, Young R J, Shatwell R A. Composites: Part A, 2002, 33(10): 1409.
- [5] Ward Y, Young R J. Journal of Materials Science, 2004, 39(22): 6781.
- [6] Ananth C R, Voletl S R, Chandra N. Composites Part A, 1998, 29(9-10): 1203.
- [7] Huang Bin, Yang Yanqing, Luo Hengjun. Materials Science and Engineering A, 2008, 489(1-2): 178.
- [8] Adachi T, Sekino T, Nakayama T. Materials Letters, 2003, 57(20): 3057.
- [9] Sinclair R, Preuss M, Maire E. Acta Materialia, 2004, 52(6): 1423.
- [10] Preuss M, Withers P J, Maire E. Acta Materialia, 2002, 50(12): 3175.
- [11] Rangaswamy P, Prime M B, Daymond M. Materials Science and Engineering, 1999, 259(2): 209.
- [12] Stefan Rohmfeld, Martin Hundhausen, Lothar Ley. Physical Review B, 1998, 58(15): 9858.
- [13] CHENG Guang-xu(程光照). Raman Brillouin Scattering(拉曼-布里渊散射). Beijing: Science Press(北京: 科学出版社), 2007. 183.
- [14] Baohong J, Nanlin S. Journal of Materials Sciences & Technology, 2008, 24(2): 261.
- [15] Nakashima S, Harima H. Physica Status Solidi (A), 1997, 162(1): 39.
- [16] Sasaki Y, Nishina Y. Journal of Materials Science, 1987, 22(2): 443.
- [17] Cerdeira F, Buchenauer C J, Pollak F H, et al. Physical Review B, 1972, 5(1): 580.
- [18] Dipankar Ghosh, Ghatu Subhash, Nina Orlovskaya. Acta Materialia, 2008, 56(10): 5345.

Application of Raman Spectroscopy to Investigation of CVD-SiC Fiber

LIU Bin, YANG Yan-qing*, LUO Xian, HUANG Bin

State Key Lab of Solidification Processing, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China

Abstract The CVD-SiC fiber was studied by using laser Raman spectra. It was found that the sharp TO peak exists in the first SiC deposit layer, indicating the larger SiC grains. But the second SiC deposit layer is with small grains. Raman peak of carbon and silicon was detected respectively in the first and second layer. Compared with that of the single SiC fiber, the TO peaks move to the high wave number for the SiC fiber in $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ composite. It indicates that the compressive thermal residual stress is present in the SiC fiber during the fabrication of the composite because of the mismatched coefficient of thermal expansion between Ti-6Al-4V matrix and SiC fiber. The average thermal residual stress of the SiC fiber in $\text{SiC}_f/\text{Ti-6Al-4V}$ composite was calculated to be 318 MPa and the residual stress in first deposit layer is 436 MPa which is much higher than that in the second layer.

Keywords SiC fiber; Titanium matrix composite; Raman spectra; Thermal residual stress

* Corresponding author

(Received Aug. 31, 2010; accepted Nov. 22, 2010)

《光谱学与光谱分析》投稿简则

《光谱学与光谱分析》是由中国科协主管,中国光学学会主办,钢铁研究总院、中国科学院物理研究所、北京大学、清华大学共同承办的专业学术期刊。国内外公开发行人,从 2004 年起为月刊,大 16 开本,2011 年仍为月刊,每期 288 页。《光谱学与光谱分析》主要报道我国光谱学与光谱分析领域内具有创新性科研成果,及时反映国内外光谱学与光谱分析的进展和动态;发现并培育人才;推动和促进光谱学与光谱分析的发展。为科教兴国服务。读者对象为从事光谱学与光谱分析的科研人员、教学人员、分析测试人员和科研管理干部。

栏目设置和要求

1. 研究报告 要求具有创新性的研究成果,一般文章以 8000 字(包括图表、参考文献、作者姓名、单位和中文、英文摘要,下同)为宜。
2. 研究简报 要求在前人研究的基础上有重大改进或阶段性研究成果,一般不超过 5000 字。
3. 评述与进展 要求评述国内外本专业的发展前沿和进展动态,一般不超过 10000 字。
4. 新仪器装置 要求介绍新型光谱仪器的研制、开发、使用性能和应用,一般不超过 5000 字。
5. 来稿摘登 要求测试手段及方法有改进并有应用交流价值,一般以 3000~4000 字为宜。

稿件要求

1. 投稿者请经本刊编委(或历届编委)一人或本专业知名专家推荐,并附单位保密审查意见及作者署名顺序,主要作者介绍。文章有重大经济效益或有创新者,请说明,同时注明受国家级基金或国家自然科学基金资助情况。
2. 来稿要观点明确、数据真实可靠、层次分明、言简意明、重点突出。来稿必须是网上在线投稿(含各种符号和外文字母大写、小写、正体、斜体;希腊字母、拉丁字母;上角、下角标位置应标清楚)。中文摘要以 300 字为宜,英文摘要以 2000 字符(相当于 300 个英文单词)为宜;另附关键词。要求来稿应达到“齐、清、定”,中文、英文文字通顺,方可接受送审。
3. 为了进一步统一和完善投稿方式、缩短论文发表周期,本刊在 2007 年 7 月 1 日以后,不再接收以邮寄方式或 e-mail 方式的投稿,只收网上在线投稿。严禁“一稿多投”,对侵权、抄袭、剽窃等学术不端行为,一经发现,取消三年投稿资格。
4. 文中插图要求完整,图中坐标、线条、单位、符号、图注等应标注准确、完整。如作者特殊要求需出彩色插图者,必须在投稿时事先加以说明,并承担另加的彩印费用。图幅大小:单栏图 7.5cm(宽)×6cm(高);双栏图:14cm(宽)×6cm(高);图中数字、图题、表题全部用中文、英文对照,图中数字、中文、英文全用 6 号字(另请备一份合格的图附在文章的后边)。
5. 文中出现的单位必须按“中华人民共和国计量标准”及有关 GB 标准规定缮写。物理量符号一律用斜体,单位符号和词头用正体字母。
6. 名词术语,请参照全国科学技术名词规定缮写。
7. 参考文献,采用顺序编码制,只列主要文献;以 15~20 条为宜。内部资料、私人通讯、未经公开发表的一律不能引用。日文、俄文等非英文文献,请用英文表述;中文文献和中文图书采用中、英文对照表述,文献缮写格式请参照本刊。
8. 请在投稿第一页左下角写明投稿联系人的电话和两个 e-mail,以便及时联系。

稿件处理

1. 自收到稿件之日起,一个月内作者会收到编辑部的稿件处理意见。请根据录用通知中所提出的要求认真修改,希望修改稿在 30 天内寄回编辑部,并作为作者最终定稿(当作者接到校样时,以此修改稿为准进行校对,请勿再做大的改动),若二个月内编辑部没收到修改稿,将视为自行撤稿处理。
2. 有重大创新并有基金资助者可优先发表;不录用的稿件,编辑部将尽快通知作者,底稿一律不退,请自留底稿。
3. 来稿一经发表将酌致稿酬并送样刊 1 册,本人文章 1 份当期封面及 6 份抽页。
4. 遵照“中华人民共和国著作权法”,投稿作者须明确表示,该文版权(含各种媒体的版权)授权给光谱学与光谱分析期刊社。国内外各大文献检索系统摘录本刊刊出的论文;凡不同意被检索刊物无稿酬摘引者,请在投稿时事先声明,否则,本刊一律认为已获作者授权认可。

5. 修改稿请寄:100081 北京市海淀区学院南路 76 号,《光谱学与光谱分析》期刊社(收)

电话:010-62182998 或 62181070

传真:010-62181070

e-mail: chngpxygpfx@vip.sina.com;

修改稿专用邮箱: gp2008@vip.sina.com

网址: <http://www.gpxygpfx.com>