

文章编号: 1004-0609(2003)05-1180-04

含高体积分数 SiC_p 的铝基复合材料制备与性能^①

张 强, 陈国钦, 武高辉, 姜龙涛, 栾伯峰
(哈尔滨工业大学 材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要: 以电子封装为应用对象, 通过合理选择一定粒径分布的 SiC 颗粒, 采用挤压铸造方法制备了 SiC 颗粒体积分数分别为 50%、60% 和 70% 的 3 种 SiC_p/Al 复合材料。材料组织致密, 颗粒分布均匀。复合材料的平均线热膨胀系数(20~100 °C)随 SiC 含量的增加而降低, 在 $8.3 \times 10^{-6} \sim 10.8 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 之间, 与 Kerner 模型预测值相符。复合材料比强度和比刚度高, 均可以满足电子封装应用的技术要求。

关键词: SiC ; 铝基复合材料; 热膨胀; 电子封装

中图分类号: TB 331

文献标识码: A

颗粒增强铝基复合材料, 由于具有制备工艺灵活、热物理性能优异及可设计性等许多独特的优点, 在电子封装、热控方面的应用日益广泛^[1-5]。美国 Lanxide 和日本 Sumitomo 电子公司已经成功地将铝基复合材料用于功率器件底座或热沉、印刷电路板芯和微处理器端盖封装中。

为使复合材料满足电子封装的技术要求, 降低材料的热膨胀系数, 使其与半导体材料或 Al_2O_3 、 AlN 等陶瓷基片的膨胀系数相匹配, 通常采用较高体积分数的增强体^[2, 6, 7]。Hunt 和 Prekumar 等^[3]分别采用粉末冶金和无压浸渗方法制备了体积分数为 55%~70% 的颗粒增强铝基复合材料。但这些方法存在设备复杂、造价昂贵或生产周期长等缺点。

作者选用 SiC 颗粒, 采用工艺简单、成本较低的挤压铸造方法, 制备了 SiC 颗粒体积分数为 50%、60% 和 70% 的 3 种铝基复合材料, 并对材料进行了微观组织观察和相关性能的测试与分析。

1 实验

1.1 复合材料制备

增强体选取了粒径分别为 20、40 和 60 μm 的 3 种 $\alpha\text{-SiC}$ 颗粒, 基体合金为 LD11 铝合金, 其主要化学成分(质量分数)为: 11.99% Si, 0.5%~1.3% Cu, 0.8%~1.3% Mg, 1.0% Fe, 0.5%~1.3% Ni, 其余为 Al。 SiC 颗粒和 LD11 铝合金的基本性能如表 1 所示。采用挤压铸造法制备 SiC_p/Al

复合材料。首先, 将一定粒径大小和含量配比的 SiC 颗粒装入模具, 制成 SiC 颗粒体积分数分别为 50%、60% 和 70% 的预制件, 于 500~600 °C 保温。将铝液于 750~800 °C 浇铸, 迅速加压至 100 MPa, 保温 5 min 后脱模, 得到 SiC_p/Al 复合材料。

1.2 复合材料性能测试

铸态复合材料的组织分析在 S-570 扫描电镜上进行。性能测试前, 将材料于 410 °C 保温 3 h, 炉冷退火处理。材料的热膨胀系数采用德国 NETZSCH 公司的 DIL 402C 型膨胀测试仪测定, 升温速率为 5 °C/min。为保证测试时温度均匀和防止试样氧化, 采用氦气保护, 流量为 50 mL/min。参照 GB4339-84 中的规定, 根据联机测试的温度-伸长量曲线, 对数据进行处理, 得到材料在 20~100 °C 之间的平均线膨胀系数。为了减小设备的系统误差, 在相同的实验条件下, 采用氧化铝标样进行校准。在 Instron5569 万能电子拉伸试验机上, 采用三点弯曲试验测试复合材料的力学性能, 十字头的位移速率为 0.5 mm/min, 环境温度为室温。

2 结果与分析

2.1 微观组织观察

SiC_p/Al 复合材料的显微组织如图 1 所示。由图 1 可以看到, SiC 颗粒带有一定的棱角, 这主要

① 收稿日期: 2002-10-22; 修订日期: 2003-03-31

作者简介: 张 强(1976-), 男, 博士研究生。

通讯联系人: 张 强, 哈尔滨工业大学 433 信箱; 电话: 0451-86418147; Fax: 0451-86413922; E-mail: zhang_tsiang@sina.com

表 1 SiC 颗粒和 LD11 铝合金的基本性能

Table 1 Properties of SiC particles and LD11 alloy

Specimen	Density/ (g·cm ⁻³)	Coefficient of thermal expansion/ 10 ⁻⁶ °C ⁻¹	Elastic modulus/ GPa	Shear modulus/ GPa	Bulk modulus/ GPa	Poission ratio
SiC particle	3.18	4.7	450	192.0	225.0	0.17
LD11	2.68	20.8	69	29.7	77.5	0.33

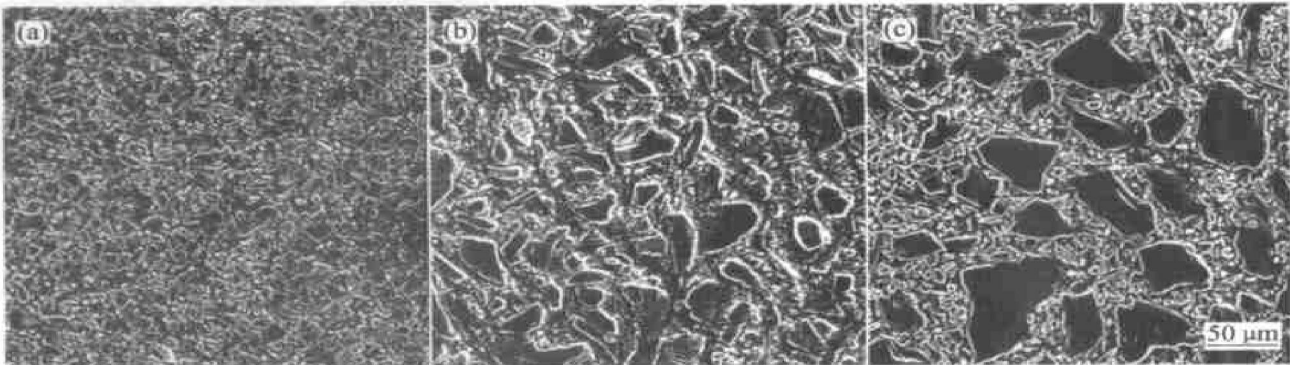


图 1 SiC_p/Al 复合材料的显微组织

Fig. 1 Microstructures of SiC_p/Al composites
(a) —50% SiC_p/Al; (b) —60% SiC_p/Al; (c) —70% SiC_p/Al

是由其制造、加工方法决定的。因所采用的 SiC 颗粒是由尺寸很大的高强度的 SiC 结晶块经破碎、研磨而成，脆性的 SiC 经反复多次的断裂形成小颗粒自然会含有棱角。

SiC_p/Al 复合材料的组织均匀、致密，无杂质、气孔等缺陷。这对于电子封装用复合材料是很有利的，致密的组织不但可以提高复合材料的导热率，还能提高材料的力学性能。随着体积分数的增加，粗大颗粒的 SiC 增加，且颗粒的层次越加明显，细小的 SiC 颗粒充分填充到粗大颗粒的间隙中，分布均匀，无颗粒团聚现象。

2.2 热膨胀性能

热膨胀系数测试结果表明：3 种 SiC_p/Al 复合材料在 20~ 100 °C 之间的平均线膨胀系数分别为 10.8×10⁻⁶，9.7×10⁻⁶，8.3×10⁻⁶/°C，随 SiC 含量的增加而减小，热膨胀性能可以满足电子封装的技术要求。对于复合材料而言，增强体颗粒可以通过基体/增强体界面制约基体合金的热膨胀行为。随着 SiC 含量的增加，颗粒对基体合金的制约程度增大，复合材料热膨胀系数也逐渐减小。

由于复合材料是由均匀、弥散分布的增强相和连续基体组成，所以其热膨胀行为很复杂。温度升高时，每种材料都将受到另一种材料的制约；而且，各材料热膨胀系数的差异将导致内应力，而内应力将抑制或促进材料的热膨胀。Turner^[9] 考虑到温度变化时，复合材料内部所产生的附加应力均为张

应力和压应力，得到复合材料的热膨胀系数为

$$\alpha_c = \frac{\alpha_m K_m \varphi_m + \alpha_p K_p \varphi_p}{K_m \varphi_m + K_p \varphi_p}$$

式中 α_c ， α_m ， α_p 分别为复合材料、基体及增强体的热膨胀系数； φ_m ， φ_p 分别为基体和增强体的体积分数； K_m ， K_p 分别为基体和增强体的体积模量。

Kerner^[10] 考虑到复合材料内部晶界或相界面之间的切变效应，提出了一个计算复合材料热膨胀系数的理论公式：

$$\alpha_c = \frac{\alpha_m \varphi_m + \alpha_p \varphi_p + \varphi_p \varphi_m (\alpha_p - \alpha_m) \times \frac{K_p - K_m}{\varphi_m K_m + \varphi_p K_p + 3K_p K_m / (4G_m)}}{1}$$

式中 G_m 为基体的切变模量。

图 2 所示为 SiC_p/Al 复合材料热膨胀系数的测试值与各模型计算值之间的比较由图 2。可以看到，材料的测试值与 Kerner 模型的计算值较为接近，远离 Turner 模型。这是因为 Turner 模型中只考虑了材料中只存在等静压力的情况，没有涉及到复合材料各组元之间可能产生的切应力，因而 Turner 模型不能充分描述复合材料内部实际的应力情况，与实际测试值相差较大。

2.3 力学性能

SiC_p/Al 复合材料的室温弯曲强度和弹性模量如图 3 所示。由图 3 可以看到：SiC_p/Al 复合材料弯曲强度较高，均大于 370 MPa，最高可以达到

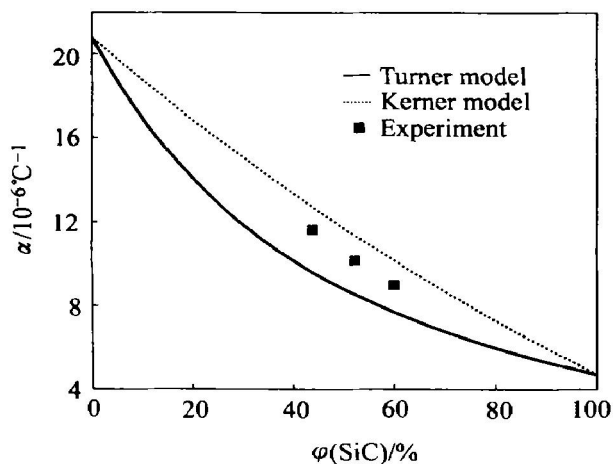


图 2 复合材料热膨胀系数
测试值与计算值的比较

Fig. 2 Comparison between theoretical
predictions and experimental data

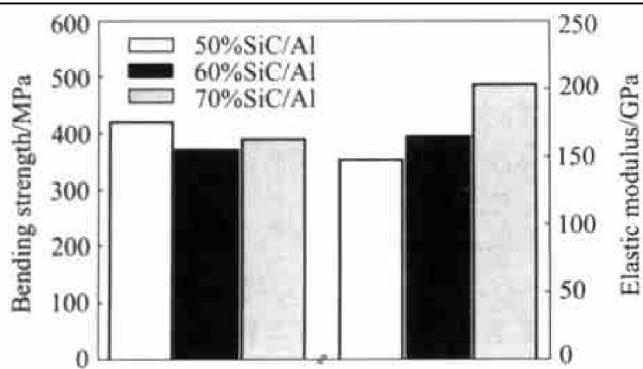


图 3 SiC_p/Al 复合材料的弯曲强度(左)和弹性模量(右)

Fig. 3 Bending strength(left) and elastic
modulus(right) of SiC_p/Al composites

422 MPa, 但强度并不随 SiC 含量的增加而线性变化。一方面, 随着 SiC 含量增加, 复合材料中有效承载体增多, 有利于材料强度的提高。但是, 材料的脆性也将增大。而且, 在较高 SiC 含量的复合材料中, 所用的颗粒尺寸较大, 易于在低应力下断裂(图 4), 从而影响材料的强度。因此, 复合材料的强度受到颗粒体积分数、大小、缺陷含量等因素的共同制约。

由于弹性模量对材料的组织不敏感, SiC_p/Al 复合材料的弹性模量随 SiC 含量的增加而增大。因材料的密度小(约 3 g/cm³), 其比模量介于 49~68 GPa·cm³/g 之间, 是常用的封装材料 Kovar 合金(13.1 GPa·cm³/g)和 Cu(18.5 GPa·cm³/g)的 3~4 倍。这有助于封装结构设计时, 在保证刚度的同时, 减小器件的尺寸和减轻器件的质量。由于微电子器件中, 器件热阻与材料的厚度成正比。因此, 器件厚度的减薄, 将减小热阻, 提高器件的散热能

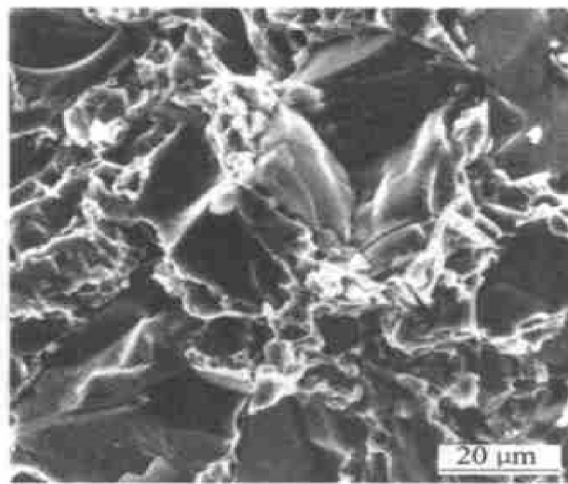


图 4 70% SiC_p/Al 复合材料中大颗粒的脆断形貌

Fig. 4 Morphology of brittle fracture
of larger particles
in 70% SiC_p/Al composite

力。

3 结论

1) 选用适当粒径分布的 SiC 颗粒, 采用挤压铸造方法可以制备出颗粒分布均匀、组织致密的高体积分数 SiC_p/Al 复合材料。

2) SiC_p/Al 复合材料的热膨胀系数随 SiC 含量的增加而减小。当 SiC 颗粒体积分数为 50%, 60% 和 70% 时, 热膨胀系数分别为 10.8×10^{-6} , 9.7×10^{-6} , 8.3×10^{-6} / °C, 与 Kerner 模型预测值相符。

3) SiC_p/Al 复合材料的弯曲强度大于 370 MPa, 弹性模量随 SiC 含量的增加而增大, 比模量为 Kovar 合金和 Cu 的 3~4 倍。

REFERENCES

- [1] Johnston C, Young R. Advanced thermal management materials[J]. International Newsletter on Microsystems and MEMs, 2000, 2(1): 14-15.
 - [2] Zweben C. Advances in composite materials for thermal management in electronic packaging[J]. JOM, 1998, 50(6): 47-51.
 - [3] Premkumar M K, Hunt W H, Sawtell R R. Aluminum composite materials for multichip modules[J]. JOM, 1992, 44(7): 24-28.
 - [4] 于家康, 周尧和. 混杂 2D-C/Al 电子封装复合材料的设计与制备[J]. 中国有色金属学报, 2000, 10(S1): 1-5.
- YU Jia-kang, ZHOU Yao-he. Design and fabrication of

- hydrid 2D-C/Al composites for electronic packaging[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2000, 10 (S1): 1 - 5.
- [5] Hills D. A metal matrix composite cools avionics[J]. Electronic Packaging and Production, 1994, 34 (12): 21.
- [6] Seiblod R W, Licari J J, Brown R L. Advanced in materials and processes for high-performance electronics fabrication and assembly(I) [J]. Sample Journal, 1997, 33 (1): 27 - 33.
- [7] Hemambar C, Rao B S, Jayaram V. Al-SiC electronic packages with controlled thermal expansion coefficient by a new method of pressureless infiltration[J]. Materials and Manufacturing Processes, 2001, 16(6): 779 - 788.
- [8] Hunt M. Progress in powder metal composites[J]. Sample Journal, 1990, 26(1): 33 - 36.
- [9] Turner P S. Thermal expansion stresses in reinforced plastics[J]. Journal of Research of the National Bureau of Standards, 1946, 37: 239.
- [10] Kerner E H. The elastic and thermo-elastic properties of composite media[J]. Proceedings of the Physical Society, 1956, 69: 808.

Fabrication and property of SiC_p/Al composites with high content of SiC_p

ZHANG Qiang, CHEN Guo-qin, WU Gao-hui, JIANG Long-tao, LUAN Bo-feng

(School of Materials Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: SiC_p/Al composites with SiC_p volume fractions of 50%, 60% and 70% for electronic packaging applications were fabricated using squeeze casting technology. The composites appear to be free of pores, and the SiC particles distribute uniformly in the composites. The mean linear coefficient of thermal expansion (20~ 100 °C) of SiC_p/Al composites ranges from 8.2×10^{-6} to 10.8×10^{-6} / °C and decreases with increasing SiC_p content. The measured coefficients of thermal expansion agree well with Kerner's model. The composites show high specific bending strength and modulus. This can meet the technical requirements for electronic packaging.

Key words: SiC; aluminum matrix composites; thermal expansion; electronic packaging

(编辑 陈爱华)