

电子封装用 Si_p/Al 复合材料的热物理性能研究

宋美慧 修子扬 武高辉 宋涛

(哈尔滨工业大学金属基复合材料工程技术研究所, 哈尔滨 150001)

文 摘 采用挤压铸造法制备了 Si_p/Al 复合材料。材料组织致密, 增强体颗粒分布均匀。热物理性能研究表明, 复合材料的热导率大于 $90 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$, 线膨胀系数可在 $(7.48 \sim 9.99) \times 10^{-6}/\text{K}$ 范围内调整。增加基体合金中的 Si 含量有利于降低材料的线膨胀系数, 但同时也会使热导率降低。对复合材料进行退火处理可有效降低其线膨胀系数, 提高热导率。 Si_p/Al 复合材料作为新型环保复合材料已经基本满足电子封装高导热、低膨胀的使用要求。

关键词 铝基复合材料, 热膨胀, 热导率, 电子封装

Study on Thermo-Physical Properties of Si_p/Al Composites Applied to Electronic Packaging

Song Meihui Xiu Ziyang Wu Gaohui Song Tao

(Center for Metal Matrix Composites Engineering Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract A new style of Si_p/Al composites is fabricated by squeeze-casting technique. Microstructure observations indicate that the composites are dense and homogenous, their thermal conductivities are larger than $90 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}$, and the coefficient of thermal expansion of Si_p/Al composites is change in the range of $(7.48 \sim 9.99) \times 10^{-6}/\text{K}$. The coefficient of thermal expansion of the composites reduces with increasing of content of silicon particles, but their thermal conductivities reduce at the same time. The annealing treatment for composites can reduce their coefficient of thermal expansion and thermal conductivities. Si_p/Al composites have basically met the demands of high thermal conductivities and low thermal expansion for electronic packaging applications.

Key words Aluminum matrix composites, Thermal expansion, Thermal conductivity, Electronic packaging

1 前言

金属基复合材料因其具备轻质、低膨胀、高导热、高导电、良好的尺寸稳定性及性能的可设计性等一系列优点而成为电子封装材料发展的主流^[1-2]。但是 W/Cu 、 Mo/Cu 、 SiC_p/Al 等电子封装复合材料很难机械加工, 这一直是困扰他们广泛应用的一大难题。另外, 一般的金属基复合材料由于含有两相性质不同的组元, 它们多是不可回收再利用的, 这不符合当今环境可持续发展的要求。Si 和 Al 在地球

上含量较多, 并且具有环境亲和性。由他们制备的 Si_p/Al 复合材料, 继承了 Si 和 Al 的一系列优良特性, 不但克服了以上几种复合材料难加工的不足, 还是一种可以回收再利用的环保型复合材料^[3]。因此 Si_p/Al 复合材料是一种有着极大发展潜力的新型电子封装用金属基复合材料。但是目前针对它的研究还比较少^[4], 本文主要以电子封装为背景研究了由挤压铸造法制备的 Si_p/Al 复合材料的热物理性能及热处理对其性能的影响。

收稿日期: 2005 - 03 - 28; 修回日期: 2005 - 04 - 14

作者简介: 宋美慧, 1981 年出生, 硕士, 主要从事 Si/Al 复合材料的研究

2 实验

2.1 实验材料

本文采用挤压铸造法制备了 Si 颗粒增强 Al 基复合材料。增强体选用平均粒径为 15 μm 的单晶

Si 颗粒, 体积分数为 65%; 基体选用纯铝 LG5、LD11 和 AlSi20 两种铝合金, 成分见表 1^[5]。每种复合材料都为原始铸造状态和去应力退火状态两种。

表 1 复合材料基体合金的化学成分

Tab 1 Chemical compositions of composite matrices

%(质量分数)

材料	Si	Cu	Mg	Fe	Ni	Zn	Mn	Al
LG5	0.003	0.005	-	0.003	-	-	-	99.99
LD11	11.99	0.5~1.3	0.8~1.3	1.0	0.5~1.3	0.25	-	余量
AlSi20	18.0~21.0	0.2	0.4	0.45	0.2	0.2	0.35	余量

2.2 实验方法

复合材料退火工艺为: Si_p/LG5 复合材料 350 \times 5 h, 炉冷; Si_p/LD11 和 Si_p/AlSi20 复合材料 410 \times 3 h, 炉冷。采用 OLYMPUS PME3 显微镜进行复合材料的显微组织观察。在德国产 DL 402C 膨胀仪上进行 Si_p/Al 复合材料线膨胀系数 (CTE) 测定, 本文所用 CTE 值为相对于 20 的平均值, 考察温度范围为 20~250, 升温速度 5 /min, 保护气体流量 50 mL/min。根据实验得到的温度-伸长量曲线, 对数据进行处理后可得到复合材料在一定温度区间内的平均 CTE 值。在德国产 TCT 416 型热导率测试仪上测定复合材料热导率, 测试温度范围为

20~50, 通过计算机对数据处理后可得到复合材料的热导率。

3 结果与讨论

3.1 微观组织观察

复合材料的显微组织如图 1 所示。从中可以看出, 几何形状不规则的 Si 颗粒均匀分布于复合材料之中, 没有发生明显的偏聚; 复合材料组织致密, 无孔洞夹杂等明显的缺陷, 这有利于提高材料的力学性能, 并且在复合材料中增强体与基体的紧密结合可以减少两相界面处缺陷对材料热传导的阻碍作用, 进而提高复合材料的热导率。

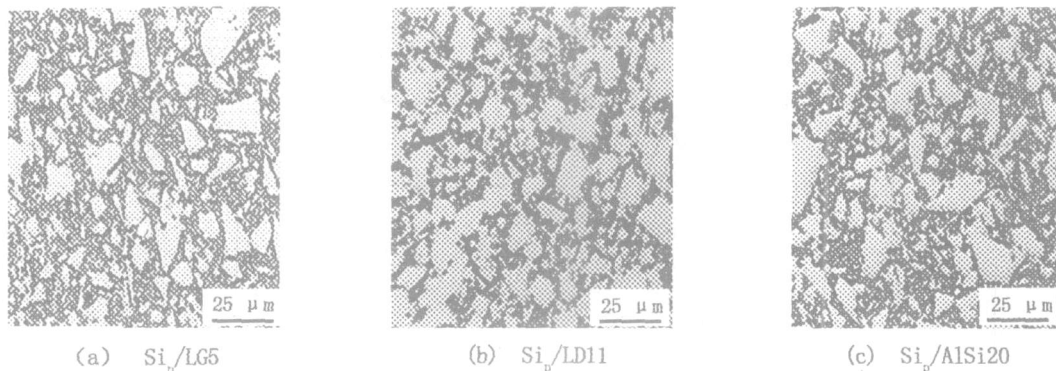


图 1 Si_p/Al 复合材料的金相组织

Fig 1 Microstructures of Si_p/LD11 composite

3.2 热膨胀性能

电子封装材料必须具备低的 CTE 以满足与芯片相匹配的要求^[6]。图 2 为几种退火态复合材料的 CTE 随温度变化曲线。从中可以看出, 随着温度升高复合材料的 CTE 呈上升趋势。在 25~50 范围

宇航材料工艺 2005 年 第 6 期

内几种复合材料的平均 CTE 值都在 $8.5 \times 10^{-6} / \text{K}$ 以下, 与 Si 芯片 CTE 值为 $4.1 \times 10^{-6} / \text{K}$ 比较已经基本满足电子封装的使用要求。而且增加基体合金中 Si 元素含量可以有效降低 CTE, 例如当以 AlSi20 为基体时复合材料的 CTE 值已经可以降低到 $7.48 \times$

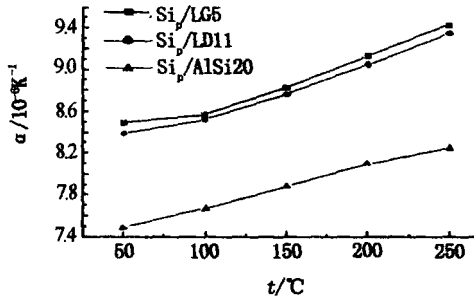


图 2 Si_p/Al 复合材料平均 CTE 值随温度变化情况
Fig 2 Temperature dependence of CTE for Si_p/Al composites

影响复合材料热膨胀性能主要因素有两个：一是基体合金的热膨胀性质；二是基体与增强体界面对材料的约束作用。当温度升高时，复合材料中基体合金的 CTE 值会增加，同时增强体 - 基体界面处的制约作用又会减弱，因此复合材料的 CTE 会随温度升高而增加。基体铝合金的 CTE 随 Si 元素含量的增加而降低，因而调整基体合金的合金元素含量有利于控制复合材料的 CTE。虽然复合材料的 CTE 略高于陶瓷基片，但仍能满足电子封装材料的使用要求。因为在这种情况下，复合材料与陶瓷基片在焊接冷却时，由于 CTE 的不同会使基片处于压应力状态之下，这有利于电子元器件的实际应用。

3.3 导热性能

电子封装材料要求具有高的热导率 (TC) 来及时散发电路工作时产生的热量，保证电路工作环境和芯片的使用寿命^[7]。图 3 中列举了几种复合材料的热导率。由此可见，复合材料的热导率在 (90 ~

102)W / (m · K) 范围内变化，已经优于传统的 Kovar 合金 [热导率为 17 W / (m · K)]。随着基体合金中 Si 元素含量增加，复合材料的热导率呈降低趋势。在颗粒增强金属基复合材料中，加入的增强体颗粒会给材料内部引入大量的界面。这些界面会阻碍电子和声子的运动，从而对复合材料的热导率产生不利的影响。同时合金中所含合金元素越多，它们对电子和声子的散射作用越强，因而复合材料的热导率也越低。因此，在制备复合材料时，要综合考虑各方面的影响因素，力求使材料的性能达到最佳。

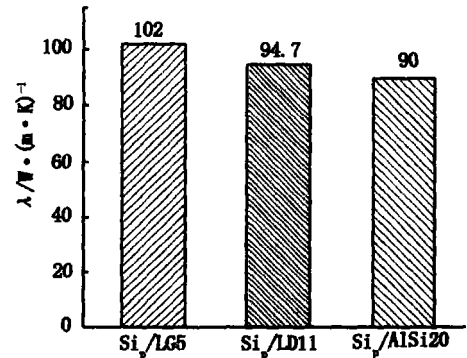


图 3 Si_p/Al 复合材料的热导率
Fig 3 Thermal conductivities of Si_p/Al composites

3.4 热处理对复合材料性能的影响

3.4.1 退火对 CTE 的影响

原始压铸态复合材料在应用前一般会经过退火处理，这会对复合材料的热物理性能产生一定的影响，主要表现在对 CTE 和热导率的影响。图 4 为几种复合材料退火处理前后的 CTE 变化曲线。

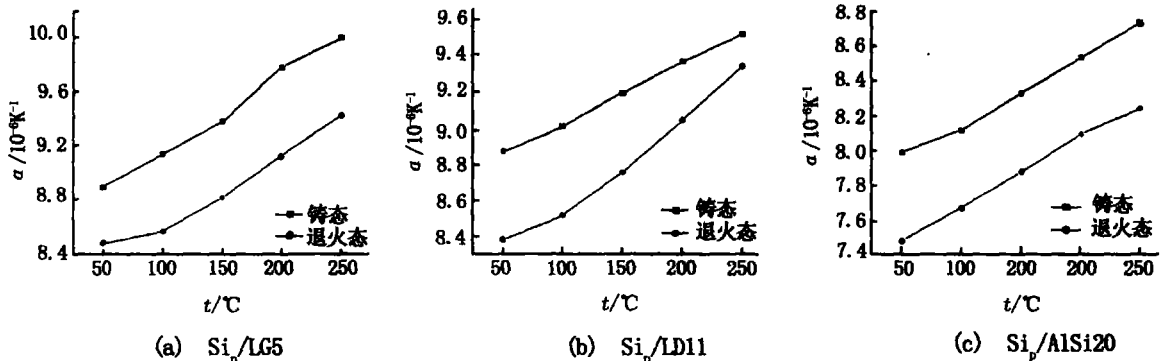


图 4 热处理对 Si_p/Al 复合材料 CTE 的影响

Fig 4 Effect of thermal treatment conditions on CTE of Si_p/Al composites

由图 4 可见,退火处理在基本不改变热膨胀曲线形状的同时,可有效降低复合材料的 CTE。复合材料制备冷却过程中由于热膨胀的不匹配 Si 颗粒会对 Al 的收缩起到抑制作用,从而在两相的界面处产生较大的残余拉应力。而在膨胀过程中这种应力也会引起一定的应变。复合材料的热膨胀量主要由基体自然膨胀和内应力引起的膨胀两部分组成,退火处理消除了复合材料中的残余应力进而降低了复合材料的 CTE。

3.4.2 退火对热导率的影响

几种复合材料退火处理前后热导率变化情况如图 5 所示。

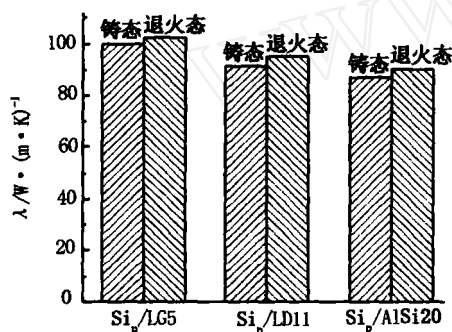


图 5 热处理对 Si_p/Al 复合材料热导率的影响

Fig 5 Effect of thermal treatment conditions on TC of Si_p/Al composites

由图 5 可见,复合材料在经过退火处理后热导率有了一定提高。在颗粒增强金属基复合材料中,基体合金通过自由电子的运动导热,而陶瓷颗粒增强体主要是通过声子运动导热。当它们组成复合材料时,电子和声子对材料热传导共同起作用。复合

材料中的界面和各种缺陷都会对电子和声子的运动产生阻碍作用。退火处理消除了复合材料中残余应力,减少了因残余应力而引起的点阵畸变对电子和声子运动的阻碍作用,从而提高了复合材料的热导率。

4 结论

(1)采用挤压铸造法可以制备组织均匀、致密的高体积分数的 Si_p/Al 复合材料。

(2)改变基体合金成分可使 Si_p/Al 复合材料的热导率大于 90 W/(m·K), CTE 在 (7.48~9.99) × 10⁻⁶/K 范围内调整,并且基体合金中 Si 元素含量越高复合材料的热导率越低,CTE 也越低。

(3)退火处理可提高复合材料热导率,降低 CTE。

参考文献

- 张强. 电子封装基片材料研究进展. 材料科学与工艺, 2000; (4): 66~68
- 周贤良. 电子封装用金属基复合材料的研究现状. 南昌航空工业学院学报, 2001; (1): 11~13
- 武高辉, 修子扬, 宋美慧等. 低膨胀 Si_p/Al 制备及其性能的影响. 第十三届复合材料学术会议论文集. 2004: 648~653
- Chien C W. Effects of Si_p size and volume fraction on properties of Al/Si_p composites. Materials Letters 2002; 12 (2): 334~341
- 田荣章, 王祝唐. 铝合金及其加工手册. 第二版. 长沙: 中南大学出版社, 2000: 179~262
- 黄强, 顾明元. 电子封装用金属基复合材料的研究现状. 电子与封装, 2003; 3(2): 22~25
- 喻学斌, 吴人洁, 张国定. 金属基电子封装复合材料的研究现状及发展. 材料导报, 1994; 8(3): 64~66

(编辑 任涛)

广 告 征 集

经北京市工商行政管理局审查批准,《宇航材料工艺》具有经营广告业务资格。多年来,已承办了国内广告,发布外商来华广告。

欢迎各界朋友惠顾! 有意者请与编辑部联系。

联系人: 吴坚

电话: (010) 68383269

广告许可证: 京丰工商广字第 0011 号

传真: (010) 68383237