

文章编号: 1003-7837(2006)01-0022-05

SiC_p/Al 复合材料组织及性能的研究

雷运生, 孙江勇

(广州有色金属研究院, 广东 广州 510651)

摘要:通过对铸态的金属模挤压铸造 SiC_p/Al 金属基复合材料的物理及机械性能的测试, 对基体合金 ZL109, ZL109+10%SiC_p 和 ZL109+20%SiC_p 的研究表明, 加入 SiC_p 可使复合材料的热膨胀系数下降, 抗拉强度和弹性模量提高; SiC_p/ZL109 复合材料的耐磨性提高 4 倍左右。通过对断口与组织的分析表明, SiC_p 在基体中分布的微观不均匀性及颗粒尺寸太大是造成冲击韧性下降的原因。

关键词: MMC, SiC_p; 耐磨性; 拉伸强度; 冲击韧性

中图分类号: TH142.2

文献标识码: A

陶瓷增强金属基复合材料由于其优良的耐磨性、强度高、刚度大, 尤其是高温强度及抗蠕变能力, 越来越受到科技工作者的重视^[1-3]。

SiC 颗粒成本低廉, 来源广泛。用铸造法制备的 SiC 颗粒增强金属基复合材料具有成本低、工艺简单等优点, 适合于批量生产。用颗粒(包括晶须)增强的金属基复合材料不仅综合性能好, 而且可方便地用传统变形方法进行二次加工。近年来, SiC_p/Al 复合材料受到人们的广泛重视, 被认为是近期内最有前景的金属基复合材料。目前, 在国外已应用于柴油机活塞、汽车驱动轴、飞机设备架、制动器转盘、自行车架、发动机缸体、宇航望远镜、微电子器件基座、飞机发动机部件及体育用品等^[4-5], 但国内实际应用并不多见。本文对 SiC_p/Al 金属基复合材料的组织和性能进行了较为系统的研究。

1 试验方法

通过搅拌方法在基体 ZL109 中分别加入 10% SiC_p 及 20% SiC_p, SiC_p 的名义尺寸是 28 μm。将制得的熔体用挤压铸造方法制备成型, 基体材料重熔后同样进行挤压铸造成型, 以进行对比, 各项试验中材

料均为铸态。

金相样品经 1000 号金刚石盘预磨后, 用 5 μm 金刚石研磨膏仔细抛光, 然后在 OLYMPUS 金相显微镜配国产 IAS-4 图象分析仪上观察并照相。短比例试样(L₀=5D₀)的拉伸试验是采用 WE-30 型液压式万能材料试验机, 无缺口冲击试样(10 mm×10 mm×55 mm)的试验是采用摆锤式冲击试验机, 其最大冲击功为 5 kg·m。在 S-550 型扫描电镜上进行断口的观察。

2 结果与讨论

2.1 显微组织

图 1 为挤压铸造 SiC_p/Al 复合材料的低倍金相照片。由图 1 可见, SiC_p 的分布比较均匀, 无严重团聚现象。从宏观来考察, 图 1(a)显示 SiC_p 分布均匀, 图 1(b)显示 SiC 颗粒与颗粒间相互分离, 说明 SiC_p 在基体中分散良好。从微观来看, 由图 1(c)和(d)可以看到, SiC_p 在基体中的分布是微观不均匀性, 这是由于在凝固过程中推移效应^[6]所造成的, 形成所谓的“晶界花边”, 即 SiC_p 与铝硅共晶组织似乎大都集中在晶界附近。

收稿日期: 2005-06-15

作者简介: 雷运生(1975-), 男, 湖南耒阳人, 工程师, 本科。

经电子探针证实,在共晶组织中即 SiC_p附近的 Si,Fe,Ni,Cu 含量偏高,Si 的质量分数可达 18%。这是由于共晶区域属非平衡凝固,在压力作用下铝硅共晶点向高硅及高温方向移动,以及 SiC_p表面的 SiO₂与熔体中的镁发生如下反应:

$$\text{SiO}_2 + \text{Mg} \longrightarrow \text{Si} + 2\text{MgO} \quad (1)$$

共同作用的结果促进了基体对增强颗粒的润湿,得到了良好的结合界面。界面硅的生成促进了界面的

润湿和结合,但硅是硬脆相,如果太厚,则会降低界面的结合强度。在基体中未检测到 Mg 的存在这一事实更好地证实了这一反应的存在。镁含量降低,减弱了沉淀强化的效果,这对机械性能是不利的,必须设法加以克服。反应形成的界面产物对复合材料性能的影响至今尚无定论,但大多数倾向于界面的脆性相对是有害的,需加以控制界面的反应。

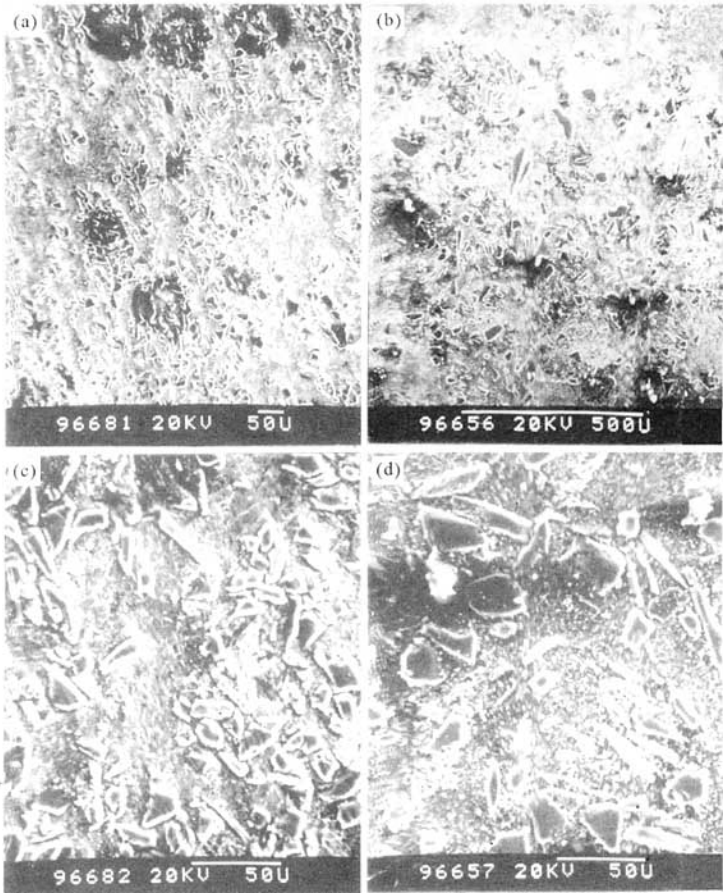


图 1 挤压铸造 SiC_p/Al 金属基复合材料的 SEM 照片

(a) — ZL109+20%SiC_p; (b) — ZL109+10%SiC_p; (c) — ZL109+20%SiC 颗粒团聚; (d) — ZL109+10%SiC 颗粒团聚

Fig.1 SEM of extrusion casting MMC

(a) — ZL109+20%SiC_p; (b) — ZL109+10%SiC_p;

(c) — particle clustering in ZL109+20%SiC; (d) — particle clustering in ZL109+10%SiC

2.2 物理及机械性能

表 1 为基体材料及 SiC_p 含量不同的复合材料的物理及机械性能。在相同工艺的条件下,复合材料的

抗冲击能力和延伸率均下降,这对材料的综合性能是很不利的。抗拉强度提高、热膨胀系数下降及弹性模量提高是材料工作者们所期望的。从 10%SiC_p与 20%SiC_p 复合材料性能的对比来看, SiC 颗粒的含量

对其影响并不大. 总体来看, SiC_p/ZL109 金属基复合材料 R 的试验数据较分散(表 1 中的数据是三组数据的平均值), 这与材料中 SiC 颗粒在基体中分布的微观不均匀性有着必然的联系.

表 1 SiC_p/ZL109 复合材料性能测试的结果
Table 1 Results for performance measurement of SiC_p/ZL109

试样	冲击韧性 /kg·m·cm ⁻²	极限延伸强度 UTS/MPa	延伸率 δ /%	膨胀率 CTE/℃ ⁻¹	弹性模量 E/GPa
ZL109	0.50	214.9	1.8	2.2×10 ⁻⁵	75.81
ZL109+10%SiC _p	0.27	243.6	1.6	1.8×10 ⁻⁵	78.01
ZL109+20%SiC _p	0.34	235.4	1.3	1.7×10 ⁻⁵	78.94

断口形态(图 2)表明, 对于小尺寸的 SiC_p 来说, SiC_p/Al 界面不会先发生断裂; 大颗粒 SiC 的界面处发生断裂表现为界面的脱粘, 从图 2(a)可以观察到裸露的大于 50 μm 的 SiC_p, 颗粒越大, 应力集中也就越大. 从图 2(b)可以看到, 大量的 SiC 颗粒团聚在一起, 与图 1 中颗粒在基体中分布的微观不均匀对应, 界面脱粘严重. 这是由于相邻颗粒的距离太近, 受到拉伸时, 严重的应力集中使基体发生塑性变形, 微孔的萌生及 SiC_p 的破碎导致试样提前失效. 从

图 3(a)可以看到, 在断裂的 SiC_p 表面处, Si 颗粒及 Al 吸附于 SiC_p 表面, 这种粗糙的表面增强了基体与颗粒的结合力, 同时也说明基体与 SiC_p 的润湿是完全的, 预处理工艺可以达到复合的目的. 图 3(b)中箭头所指处为断裂的 SiC_p, SiC_p 附近的基体发生了很大的变形, SiC_p 的断裂是由于基体的应力集中造成的. SiC_p 的尺寸及分布对材料的性能起着决定性的作用. 试样冲击韧性的下降是界面脱粘及 SiC_p 破碎的必然结果.

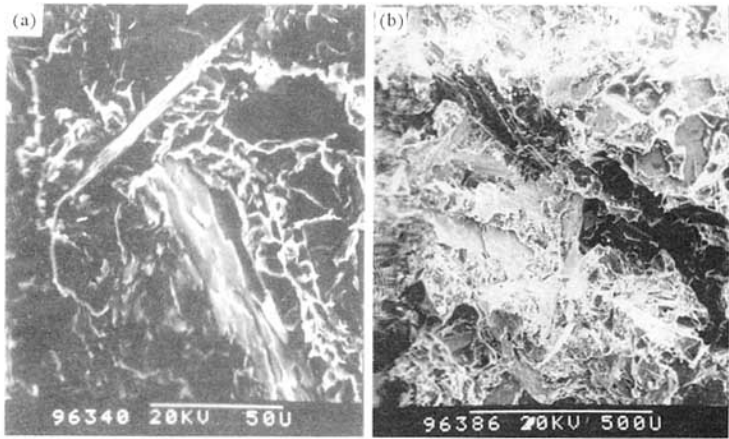


图 2 挤压铸造铝基复合材料拉伸断口扫描照片
Fig.2 SEM of tenside fracture of extrusion casting Al matrix composites
(a) - ZL109 + 20% SiC_p; (b) - ZL109 + 10% SiC_p

2.3 复合材料的摩擦磨损性能

在 150 N 低速润滑的条件下, 材料磨损时间为 1 h, 其材料磨损性能列于表 2. 由表 2 看出, 耐磨性最好的是试样 ZL109 + 20% SiC_p, 其次是试样

ZL109 + 10% SiC_p, 基体的耐磨性最差. 这表明随着 SiC 颗粒含量的增多, 耐磨性提高, 为基体的 3~4 倍. 但摩擦系数基本不变, 说明 SiC_p 无减摩作用. 在润滑的条件下, SiC_p/ZL109 复合材料的磨痕中存在裸露的 SiC_p, 在基体渐渐磨掉后, 裸露的 SiC_p 承受

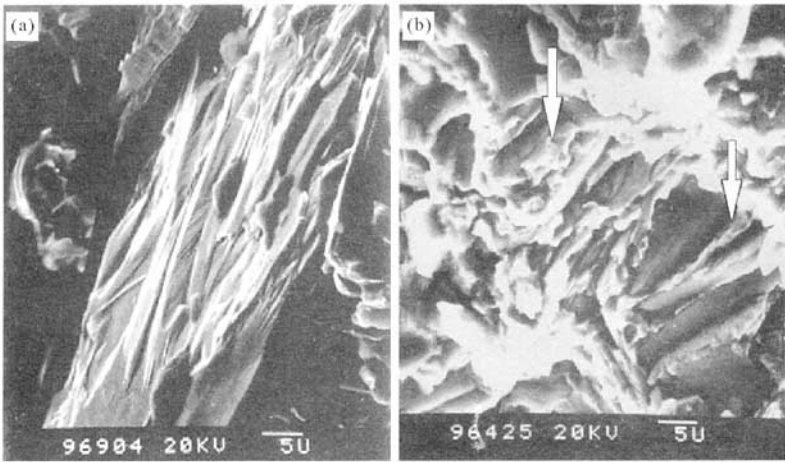


图 3 挤压铸造铝基复合材料冲击断口扫描照片
Fig.3 SEM of impact fracture of extrusion casting Al matrix composites
(a)-ZL109+20%SiC_p; (b)-ZL109+10%SiC_p

大部分载荷,而 SiC_p具有很强的耐磨性,从而减轻了整个材料的磨损.同时也观察到随着 SiC 颗粒含量的增多,磨痕宽度依次变窄.这可能是凸出的 SiC_p与对磨环相接触,减小了基体与对磨环的直接接触面积所造成的.

表 2 在 150 N 负荷及润滑条件下 SiC_p/ZL109 复合材料的磨损性能

Table 2 Wear performance of SiC_p/ZL109 under 150 N loads and lubricating condition

材料	磨损体积/mm ³	摩擦系数
ZL109	0.613	0.025
ZL109+20%SiC _p	0.195	0.026
ZL109+10%SiC _p	0.217	0.023

由表 3 看出,在干磨的条件下, SiC_p增加,材料的摩擦系数增大,耐磨性提高,为基体的 4~5 倍.利用其耐磨性好及摩擦系数高的特点,可考虑用 SiC_p/ZL109 复合材料来制作汽车的刹车碟片及制动鼓.

表 3 在 50N 负荷及干磨条件下 SiC/ZL109 复合材料的磨损性能

Table 3 Wear performance of SiC_p/ZL109 under 50 N loads and dry grinding

材料	磨损体积/mm ³	摩擦系数
ZL109	26.27	0.23
ZL109+20%SiC _p	5.88	0.29
ZL109+10%SiC _p	5.98	0.28

3 结 论

- (1)SiC_p的加入使复合材料的热膨胀系数下降,抗拉强度和弹性模量提高.
- (2)SiC_p与界面结合良好,小颗粒 SiC 不是断裂源,选择 SiC_p作为增强体,其尺寸不宜过大.
- (3)复合材料中 SiC_p颗粒在基体中分布的微观不均匀性是冲击韧性下降的重要原因, SiC_p的团聚使应力集中严重. SiC_p微观分布不均匀性引起的界面脱粘及 SiC_p破碎是试样失效的直接原因.
- (4)SiC_p/ZL109 复合材料耐磨性提高 4 倍左右.

参考文献:

[1] Karnezis P A. Characterization of Reinforcement Distribution in Cast Al-Alloy/SiC_p Composites Mater[J]. Sci & Tech. 1998, 14: 97-107.

[2] Ouyang L Z, Luo C P, Sui X D, et al. Fabrication and microstructure of in situ Al₂ O₃ decomposed from Al₂/(SO₄)₃-reinforced aluminum matrix composites[J]. Materials Letters, 2003, 57 (11): 1712-1715.

[3] 欧阳柳章,罗承萍,隋贤栋,等.原位生成制备 Al₂O₃增强铝基复合材料[J].中国有色金属学报,2000, 10(2): 159-162.

[4] Clyne T W. An Introduction to Metal Matrix Composites [M]. Cambridge: Cambridge University Press,

1993.

75-79.

[5] William C, Harrigan Jr. Commercial processing of metal matrix composites[J]. Mater Sci & Eng, 1998, A244:

[6] 谢国宏. 颗粒增强金属基复合材料凝固过程中的颗粒推移效应[J]. 宇航材料工艺, 1998, 28(2): 44-46.

Mechanical behavior and microstructure of cast particulate SiC_p/Al metal matrix composites

LEI Yun-sheng, SUN Jiang-yong

(Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals, Guangzhou 510651, China)

Abstract: Both physical and mechanical tests were carried out to study the deformation behavior of particulate SiC-reinforced Al (ZL109) matrix composites produced by extrusion casting using molten metal stirring method. Extrusion casting ZL109 + 10%SiC_p and ZL109 + 20%SiC_p composite billets were compared with the conventional ZL109 alloy. The results show that the strength, wear properties and elastic modulus of composites increased by the introduction of reinforcement while the heat expand coefficient decreased. It was found that the distribution and size of the SiC_p particulate could markedly affect the tensile strength and impact toughness of the composites.

Key words: MMC; SiC_p; tensile strength; impact toughness