

[文章编号] 1004-0609(2002)S1-0147-04

Mg 对无压自浸渗制备 SiC_p/Al 复合材料组织与性能的影响^①

张全萍, 许伯藩, 吴新杰, 王 蕾
(武汉科技大学 材料与冶金学院, 武汉 430081)

[摘 要] 采用无压自浸渗法制备 SiC_p/Al 复合材料。研究了 Mg 含量对 SiC_p 与 Al 之间浸润性的影响; 探讨了 Mg 含量对 SiC_p/Al 复合材料的组织与性能的影响及其作用机理。结果表明, 加入的 Mg 与 SiC_p 表面的氧化物薄膜和铝基体发生反应, 生成物会阻止 SiC_p 与 Al 基体反应生成 Al₄C₃ 脆性相, 同时 SiC_p 表面的微反应也增加了基体与 SiC_p 的结合强度, 改善了基体与 SiC_p 之间的浸润性, 从而使复合材料的耐磨性提高了 3~4 倍。

[关键词] 无压自浸渗; SiC_p/Al 复合材料; Mg

[中图分类号] TB 331; TG 174.443

[文献标识码] A

随着科技的发展和工业生产对材料性能的要求日益提高, 单一的普通材料已越来越难满足实际需要。复合材料即是适应高性能要求而出现的先进材料。其中陶瓷颗粒增强铝基复合材料具有高的比强度、比刚度及良好的耐磨性^[1], 被广泛地应用于汽车及航空航天工业^[2, 3]。陶瓷相中 SiC 具有密度低、硬度高、弹性模量高、耐磨、耐蚀及成本低廉等优点而成为较理想的增强材料, 近几年来国内外以 SiC 作为增强相的铝基复合材料的研究工作备受关注^[3, 4]。有关 SiC 增强铝基复合材料的方法有很多, 如粉末冶金法、熔融铸造法、喷射沉积法及压力渗透法等, 但普遍存在工艺复杂, 成本过高等缺点而使产品难以广泛应用。新近提出了一种无压自浸渗法制备 SiC 增强铝基复合材料的新方法, 该法因成本低、工艺简单和易于工业生产而得到广泛的研究^[5~7]。该法是在大气条件不借助于外界压力的作用下进行, 如何使增强体 SiC 与熔融铝或铝合金良好浸渗是一个非常重要的问题。本研究在采用无压自浸渗法制备 SiC_p/Al 复合材料时, 除加入一定量的助渗剂 K₂TiF₆ 外, 重点考察添加活化剂 Mg 对所生成的 SiC_p/Al 复合材料的制备工艺及其组织结构与性能的影响。

1 实验

实验用金属基体为工业纯铝(99.6%), 增强体

为 80 μm SiC 粉, 助渗剂为 K₂TiF₆(化学纯), 活化剂为 Mg 粉(化学纯)。

将 SiC 粉经超声波清洗 1 h, 然后加热到 600 °C 保温 2 h 净化预处理。K₂TiF₆ 经 180 °C 烘干 40 min。按一定的配比把处理过的 SiC 粉、K₂TiF₆ 粉及 Mg 粉等均匀混合, Mg 粉的加入量分别为 0, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0%。然后将混合粉末置于钢制铸模中加热至 600~680 °C 备用。另在电阻炉中将纯铝加热熔化并升温至 800~900 °C, 将铝液浇铸入上述预热的粉末混合物中, 保温 2 h 后空冷, 即得 SiC_p/Al 复合材料。对获得的试样分别进行宏观形态和微观组织观察, 沿着试样径向 1/4 处纵截面测定布氏硬度。在 D/MAX-II 型 X 射线衍射仪上进行结构分析。并在自制的耐磨装置上进行了耐磨性对比试验。

2 结果与分析

2.1 宏观形貌特征与硬度分布

观察试样宏观横截面断口发现, 未加活化剂 Mg 的试样中心呈现较多的气孔与疏松, 而随 Mg 的加入增多, 中部的气孔与疏松逐渐减少直至消失。沿着试样径向 1/4 处纵截面测定布氏硬度分布如图 1 所示。由于 SiC 与 Al 之间密度的不同, 导致铸件冷却后出现 SiC 颗粒上下分布不均, 致使硬度值由下而上逐渐降低。未加活化剂 Mg 的试样中,

① [收稿日期] 2001-10-09; [修订日期] 2001-10-31

[作者简介] 张全萍(1976-), 女, 硕士研究生。

硬度值很快就下降到纯铝的硬度数值, 这表明纯铝的浸渗较浅。随着 Mg 的加入, 硬度值由底部的高值较缓慢的降低至上部纯铝的硬度值。这反映出由于活化剂 Mg 元素的加入, 致使金属液的表面张力下降^[8], 使铝液浸渗时流动性增加, 浸渗的深度也随之增加。

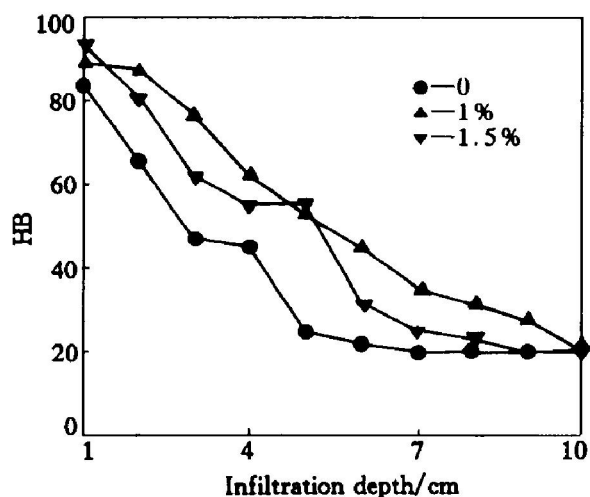


图 1 Mg 加入量不同时渗层深度与硬度关系曲线

Fig. 1 Relationship between infiltration depth and hardness with different addition of Mg

2.2 微观组织

图 2 给出了不同的 Mg 添加量时 SiC_p/Al 复合材料的显微组织。如图 2(a) 所示, 未加活化剂 Mg 的试样中 SiC 颗粒分布不均匀且多有棱角, 同时还有少量条状的脆性相 Al₄C₃ 及孔洞与疏松存在; 而加入 1% Mg 的复合材料中 SiC 颗粒分布均匀, 棱角减少甚至接近椭圆形, 无孔洞与疏松存在, 组织中只观察到 Al 基体与 SiC 颗粒(图 2(b))。这将使复合材料在承载时缓和应力集中, 利于载荷传递, 使力学性能得以提高。但是, 当加入的 Mg 量超过 1.0% 时, 制备的复合材料中虽然有部分的颗粒结合较紧密, 但又出现了偏聚和孔洞现象。图 2(c) 所示复合材料中添加 Mg 的量为 1.5%。

2.3 X 射线衍射分析结果

图 3 所示为 SiC_p/Al 复合材料的 X 射线衍射分析结果。未加活化剂 Mg 的试样如图 3(a) 所示, 表明除了有 SiC 颗粒相与 Al 基体相外, 还存在一定量的 Al₄C₃ 相, 这与图 2(a) 所示的显微组织结果相一致。图 3(b) 所示的 X 射线衍射分析结果表明, 复合材料中除了有 SiC 颗粒相与 Al 基体相外, 还有少量的 MgAl₂O₄ 相存在。

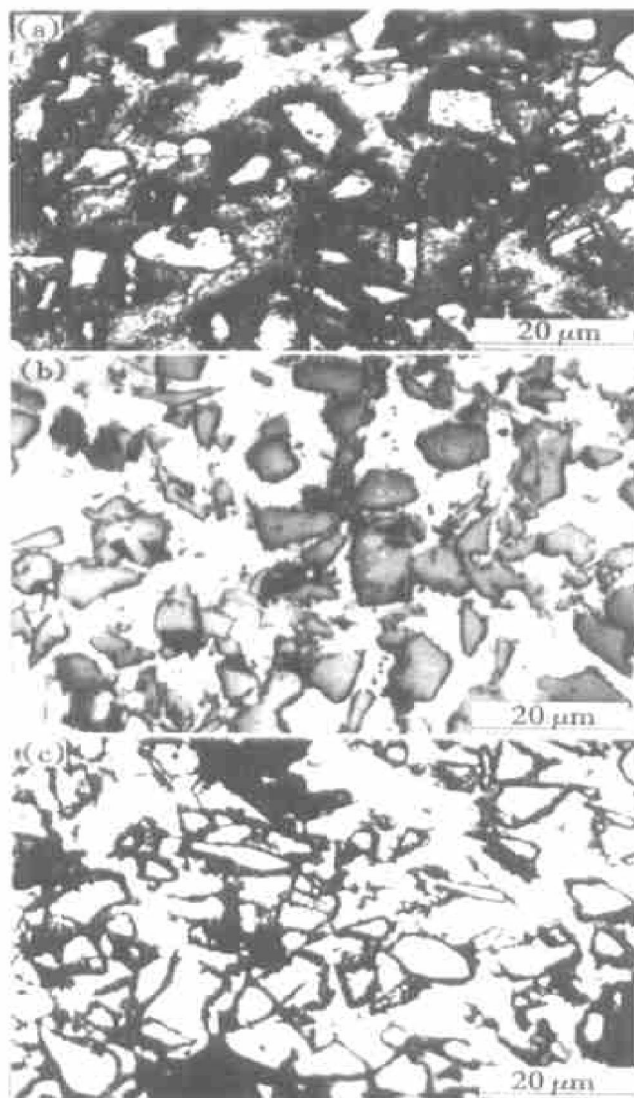


图 2 复合材料的显微组织照片

Fig. 2 Optical micrographs of composites

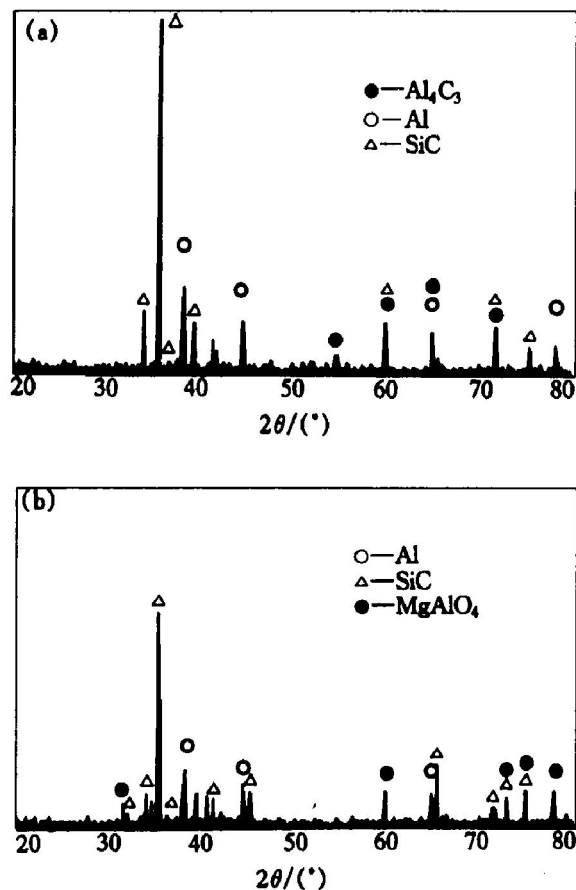
(a) —No addition of Mg; (b) —1% Mg; (c) —1.5% Mg

2.4 耐磨性实验结果

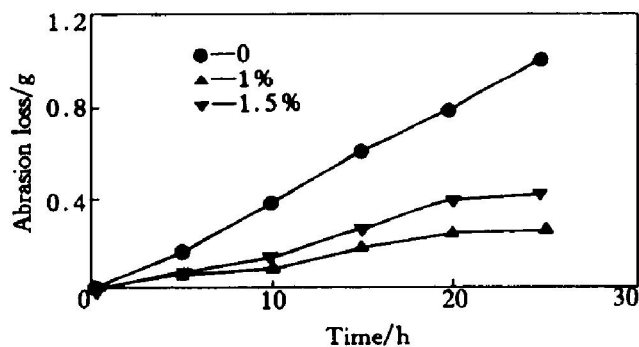
复合材料的耐磨性实验结果如图 4 所示。结果表明, Mg 的加入对复合材料的耐磨性影响是显著的。未加 Mg 的试样其磨损量与时间几乎成正比例关系。加入 Mg 的试样, 开始时磨损量极少, 在 15 h 之后磨损量逐渐增加, 但磨损曲线平缓, 且耐磨性较未加 Mg 的试样提高 3~4 倍。这可能是在加入 Mg 之后, 一定程度上改善了基体和 SiC 颗粒之间的浸润性, 增加了两者之间的结合强度, 减少了孔洞和疏松, 从而改善复合材料的耐磨性。

3 讨论

以上结果表明, Mg 的加入一方面减少了熔融金属铝表面的张力, 降低了 SiC 颗粒和熔融金属铝

图 3 SiC_p/Al 复合材料的 X 射线衍射谱Fig. 3 XRD patterns of SiC_p/Al composites

(a) —No addition of Mg; (b) —Addition of 1% Mg

图 4 SiC_p/Al 复合材料的耐磨曲线Fig. 4 Curves showing wear resistance of SiC_p/Al composites

的表面能, 增加了复合材料的流动性, 从而提高了熔融金属铝和陶瓷填充料 SiC 颗粒之间的浸润性。另一方面, 加入的 Mg 在遇到高温熔融铝液时也会燃烧放出大量的热, 促进助渗剂 K₂TiF₆ 的分解, 从而有利于 Al₂O₃ 膜的破裂, 使熔融金属铝和增强体 SiC 颗粒直接接触, 改善了它们之间的浸润性^[8]; 也提高了制备的复合材料的流动性, 使反应生成的 K 和 Al 的氟化物上浮于 Al 液的表面, 减少

了 SiC 颗粒偏聚和孔洞现象发生。

加入的 Mg 可以与基体铝及 SiC 颗粒表面上的氧化物薄膜反应生成 MgAl₂O₄ 相, 减少了 SiC 颗粒直接与熔融铝之间的界面反应, 阻碍脆性相 Al₄C₃ 的生成^[10], 改善基体和陶瓷颗粒的结合强度, 从而改善了复合材料的力学性能。其反应方程式如下:



但是, 当加入的 Mg 量过多时, 产生过厚的 MgAl₂O₄ 相对复合材料的强度和塑性不利^[11]。在本实验中, 当加入的 Mg 量超过 1% 时, 因过量的 Mg 在遇到高温熔融铝时燃烧放出大量的热, 使助渗剂 K₂TiF₆ 过早分解, 未能起到助渗的作用, 使一部分 SiC 颗粒与铝基体之间的接触较差, 整个复合材料的流动性并没有大的提高, 使组织中又出现孔洞和 SiC 颗粒偏聚现象。结果导致纵向截面布氏硬度由下至上较快下降, 耐磨性也较加入 Mg 量为 1% 时的试样下降。

4 结论

1) 不同的 Mg 加入量对无压自浸渗制备的 SiC_p/Al 复合材料的浸润性的影响不同。以 1% Mg 含量为最佳, 能避免脆性相 Al₄C₃ 的生成, 浸渗效果最好。

2) 添加 1% Mg 时, SiC 颗粒在复合材料中的分布较均匀, 与基体的结合较好, 无孔洞和偏聚产生。

3) 对无压自浸渗制备的 SiC_p/Al 复合材料, 添加活化剂 Mg 的复合材料的耐磨性比未加 Mg 的复合材料的耐磨性大为提高。

[REFERENCES]

- [1] 严有为, 魏伯康, 林汉同. 化学成分对原位 TiC_p/Fe 复合材料组织和性能的影响 [J]. 中国有色金属学报, 1999, 9(2): 225-230.
YAN Your-wei, WEI Bo-kang, LIN Han-tong. Effect of chemical composition on microstructure and property of in situ TiC_p/Fe composite [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 1999, 9(2): 225-230.
- [2] Indroos V K, Tolvitie M J. Recent advances in metal matrix composites [J]. Mater Process Tech, 1995, 53: 273-278.
- [3] 朱和祥, 黎祚坚, 陈国平. 碳化硅颗粒增强体铝基复合材料的发展状况 [J]. 材料导报, 1995, 9(3): 73-76.

- ZHU H_{er}xiang, LI Zu_ojian, CHEN Gu_oping. Development of aluminum matrix composites reinforced by SiC particulates [J]. Materials Review, 1995, 9(3): 73–76.
- [4] Lloyd D J. Particle reinforced aluminium and magnesium matrix composites [J]. Inter Mater Rev, 1994, 39(1): 1–23.
- [5] Aghajanian M K, Rocajella M A, Bueka J T, et al. The fabrication of metal matrix composites by a pressureless infiltration technique [J]. Mater Sci, 1991, 20: 447–454.
- [6] 王济国. 自浸渗法制备 SiC_p/Al 复合材料 [J]. 轻合金加工技术, 1998, 26(6): 38–41.
WANG J_iguo. Manufacture of the SiC_p/Al composites by auto-soak in air [J]. Light Alloy Fabrication Technology, 1998, 26(6): 38–41.
- [7] 许圣麟, 刘世永, 史雅琴. 自浸渗法制备 SiC_p/Al 复合材料及其耐磨性 [J]. 材料科学与工艺, 1999, 7(3): 6–9.
XU Sheng_ling, LIU Shi_Yong, SHI Ya_qin. SiC_p/Al composites produced by pressureless infiltration and their abrasion resistances [J]. Materials Science and Engineering, 1999, 7(3): 6–9.
- [8] Rohatgi P K, Asthan R, Das R. Solidification, structure and properties of cast metal-ceramic particle composites [J]. Inter Metals Rev, 1986, 31(3): 115–139.
- [9] Rocher J P, Quceisset J M, Naslain R. Wetting improvement of carbon or silica carbide by aluminum alloy based or a K₂TiF₆ surface treatment application to composites material casting [J]. Mater Sci, 1989, 24: 2697–2703.
- [10] Cocen U, Onel K, Ozdemir I. Microstructure and age hardenability of Al-5% Si-0.2% Mg based composites reinforced with particulate SiC [J]. Composites Science and Technology, 1997, 57: 801–808.
- [11] Lee K B, Kim K S, Kwoh H. Fabrication of Al-3 Wt Pct Mg composites reinforced with Al₂O₃ and SiC particulates by the pressureless infiltration technique [J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 1998, 29A: 21087.

Effect of Mg on microstructure and properties of SiC_p/Al composite fabricated by pressureless infiltration

ZHANG Quan_oping, XU Bo_ofan, WU Xir_ojie, WANG Lei

(College of Materials and Metallurgy, Wuhan Science and Technology University,
Wuhan 430081, China)

[Abstract] The SiC_p/Al composites was fabricated by pressureless infiltration method, the behavior of different fraction of Mg addition on the microstructure and mechanical properties was investigated. It indicates that MgAl₂O₄, a reaction product at the surface between oxide films of SiC and the matrix, can hinder the fragile Al₄C₃ which could be produced between SiC and the matrix directly. On the other hand it enhances the bonding between SiC and the matrix and improves the properties of the composites at the same time.

[Key words] pressureless infiltration; SiC_p/Al composites; Mg

(编辑 袁赛前)