

[文章编号] 1004- 0609(2001)S2- 0064- 04

液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的组织与性能^①

齐乐华, 李贺军, 孙乐民, 史忠科
(西北工业大学 机械工程系, 西安 710072)

[摘 要] 探讨了液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的组织与性能特征及其相互之间的关系。研究表明, 其基体组织晶粒细小, SiC 颗粒基本呈均匀随机分布, 无明显堆积及脱粘现象, 且与基体结合良好; 抗拉强度比基体材料提高 20%~ 32%。从而为颗粒增强金属基复合材料管、棒材的制备提供了一种减少工序、节能节材的可行方法。

[关键词] 液-固挤压; 显微组织; SiC_p/LY12 复合材料

[中图分类号] TB 331

[文献标识码] A

碳化硅颗粒增强铝基复合材料以其优异的物理和化学性能, 如高比强度、高比刚度、高比模量、低膨胀系数、耐磨、耐高温等, 在航空航天、汽车、电子、医学等领域具有广泛的应用前景^[1, 2]。但 SiC_p 与铝液之间的湿润性较差, 这给制备 SiC_p 增强铝基复合材料带来了一定困难。目前, 常用制备方法如搅拌铸造、粉末冶金和挤压铸造^[3~ 6]等方法都不能直接生产管、棒材类制品, 均需二次加工, 即先成型出复合材料坯体, 再经挤、轧等工艺制成所需制品。本文作者采用液-固挤压方法^[7, 8], 由液态金属一次成形制备 SiC_p/LY12 复合材料棒材, 并分析了该复合材料的组织与性能。

1 实验方法

实验所用 SiC 颗粒尺寸为 10~ 15 μm, 密度 3.2 g/cm³, 熔点 2 700 ℃, 呈多角形态; 基体合金为 LY12, 其化学成分如表 1 所示。

表 1 基体 LY12 的化学成分

Table 1 Chemical composition of LY12 alloy (mass fraction, %)

Cu	Mg	Mn	Fe	Si	Zn	Al
3.8~ 4.9	1.2~ 1.8	0.3~ 0.9	0.5	0.5	0.3	Bal.

将 SiC_p 在 300 ℃干燥 8 h, 以增强与基体的湿润性; 按不同质量分数注入高温 LY12 合金液中进行高速机械搅拌, 同时在溶液上方通入 N₂, 保护合金熔体免受氧化, 然后将溶液倒入模具中按不同工

艺参数在 3 150 kN 油压机上进行液-固挤压, 得到 SiC_p/LY12 复合材料棒材。对复合材料进行时效处理, 在 485 ℃盐浴淬火, 190 ℃保温 6 h, 空冷。

在复合材料制件的不同部位截取部分材料制成组织、性能测试试样, 考察工艺参数对成形质量的影响。组织观察采用光学显微镜和 JSM-5800 扫描电镜; 拉伸试验在 CSS-1110 电子拉伸试验机上进行, 拉伸速度为 2 mm/min。

2 结果与讨论

2.1 SiC_p/LY12 复合材料的力学性能

液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的力学性能如表 2 所示。可以看出, 液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的抗拉强度与基体材料相比有不同程度的提高, 随着 SiC_p 质量分数的增加, 抗拉强度也随之增加, 提高了 20%~ 32%。这是因为颗粒增强金属基复合材料依靠基体承受载荷, 其强度主要取决于分散粒子阻碍位错运动的能力。当 SiC_p 增多时, 导致界面数量增多, 其弥散分布严重阻碍了位错运动, 并使得裂纹扩展的随机性大大增加, 避免了因裂纹沿某一方向迅速扩展而使基体过早断裂, 从而强化了基体组织。另一方面, 液-固挤压时材料处于三向压应力状态, 且变形温度较高, 有利于晶粒/基体界面机械结合强度的提高和材料中各种显微缺陷的愈合。这种强化效应随 SiC 颗粒的增加和弥散分布而更为明显。

① [基金项目] 航空基金资助项目(99C53087); 陕西省自然科学基金资助项目(2001C17)

[收稿日期] 2001- 06- 25; [修订日期] 2001- 09- 03

[作者简介] 齐乐华(1957-), 女, 教授, 硕士。

表 2 液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的强度

Table 2 Tensile strength of SiC_p/LY12 composites prepared by liquid-solid extrusion

Material	w (SiC _p) / %	σ _b / MPa
LY12	0	345
SiC _p /LY12	4	313~ 324
SiC _p /LY12-T4	4	350~ 417
SiC _p /LY12-T4	7	374~ 440
SiC _p /LY12-T4	10	404~ 456

2.2 SiC_p/LY12 复合材料的组织特征

图 1 为液-固挤压 SiC_p/LY12 复合材料的光学显微镜和扫描电镜照片。可以看出, 复合材料中基体组织晶粒细小, SiC 颗粒基本呈均匀随机分布, 没有明显堆积现象(图 1(a)), 且与基体之间的界面清晰, 结合良好, 未发现与基体的脱粘现象(图 1(b))。说明液-固挤压成形能使铝液与 SiC 颗粒润湿复合, SiC 颗粒弥散分布于熔体中, 得到致密的 SiC 颗粒增强铝基复合材料。图 2 所示为搅拌速度过低时, SiC 颗粒的分布情况, 观察发现存在多处 SiC 聚集现象。当 SiC 和铝液的接触角 $\theta=118^{\circ}>90^{\circ}$ 时^[9], SiC 颗粒与铝液润湿不好, 倾向于自我团聚。由于颗粒增强金属基复合材料中裂纹最有利

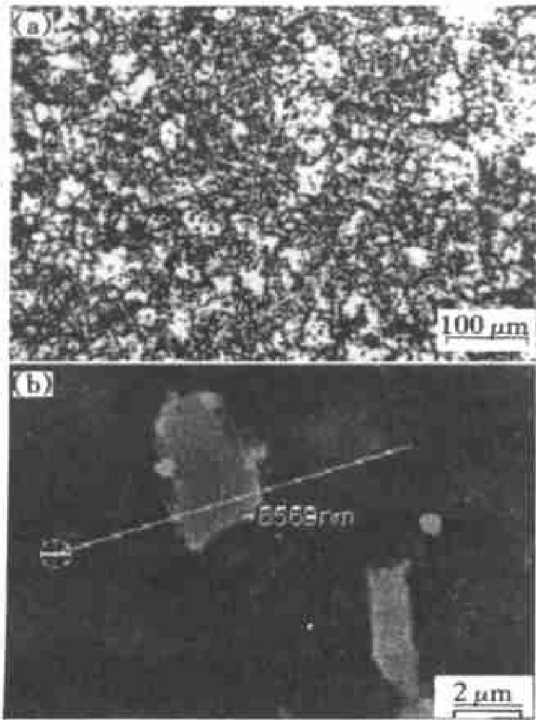


图 1 8% SiC/ Al 复合材料显微组织及界面情况

Fig. 1 Microstructure and interface for 8% SiC_p/ Al composite

(a) —Distributions of SiC particle;

(b) —Combination of SiC particle and matrix

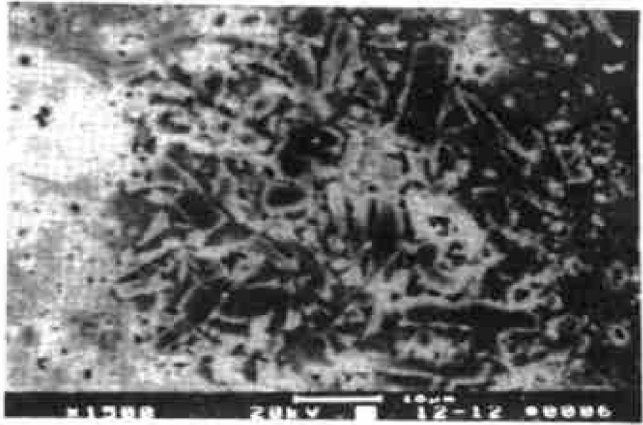


图 2 SiC 颗粒的聚集现象

Fig. 2 Accumulation phenomenon of SiC particle

的形核位置处于增强体体积分数高的局部区域^[10], 在随后裂纹扩展长大过程中, 颗粒分布均匀的区域使裂纹扩展的随机路径增加, 而颗粒聚集的区域会优先捕捉裂纹尖端, 故增强体在局部区域聚集会降低材料的强韧性。研究表明, 机械搅拌时金属液形成的涡流, 有助于将悬浮的 SiC 颗粒打散, 使其借助旋涡力量进入到熔液中去。但剧烈搅拌又会加剧铝液的氧化和吸入气体, 干扰增强粒子的进入、分散和复合。实验中, 在高速搅拌的同时通入 N₂, 并依据合理参数选择机械搅拌速度, 可以使团聚 SiC 颗粒弥散分布于熔体中。

2.3 SiC_p/LY12 复合材料的断口形貌

观察具有较高力学性能的 SiC_p/LY12 复合材料试样拉伸断口, 可以发现断口中含有韧窝和晶界裂纹, 属于晶内断裂与晶界断裂的混合型断裂。随 SiC 颗粒增加, 断裂多起源于晶界。观察还发现, 复合材料基体晶粒呈纤维状延伸性断裂, 纤维状断口表面含有大量细小韧窝(图 3)。照片中白色纹路是铝基体韧性断裂的形貌, 灰色不规则粒状是 SiC 颗粒镶嵌的形貌, 其能谱分析示于图 4。可以看到 SiC_p 分布较均匀, 并有 SiC 颗粒被挤断的痕迹, 说明颗粒与铝基体结合良好。

对力学性能较低的试样断口进行观察, 发现有多种缺陷存在。首先是大直径夹杂物的存在, 在很大程度上影响了材料的性能。夹杂物在复合材料中不仅起不到增强作用, 而且由于其性能低, 脆性大, 会成为明显的裂纹源(图 5)。在塑性变形过程中, 金属材料尽管承受较大球静压力, 可消除材料的微裂纹、孔洞等显微缺陷, 但在拉伸过程中夹杂物会引起严重的应力集中, 导致材料的弱化。此外, 在断口中还发现有微裂纹存在及脱粘现象(图 6), 这也会影响增强效果。从图 6 的选区能谱分析

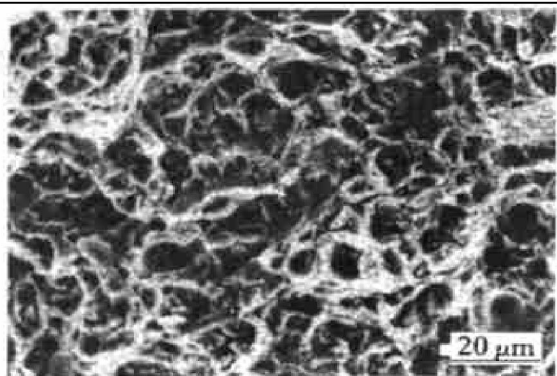


图3 8% SiC_p/Al 复合材料拉伸断口形貌

Fig. 3 Tensile fractograph of 8% SiC_p/Al composite

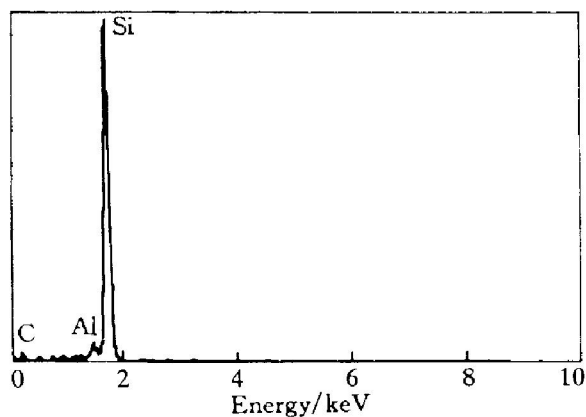


图4 灰色不规则粒状物的能谱图

Fig. 4 Energy spectrum for irregular grey particles

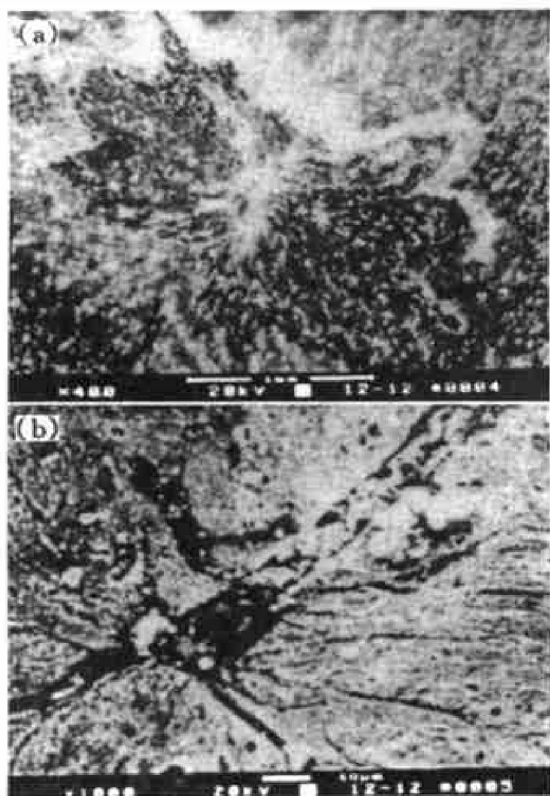


图5 非正常断裂的 SiC_p/Al 复合材料拉伸断口

Fig. 5 Fractograph for abnormal failure of SiC_p/Al composite

(a) —Rivulet-like pattern; (b) —Inclusion

(见图7)可以看出, SiC 颗粒表面存在大量的Al, 说明材料是在 SiC_p/Al 的界面过渡层处断裂。

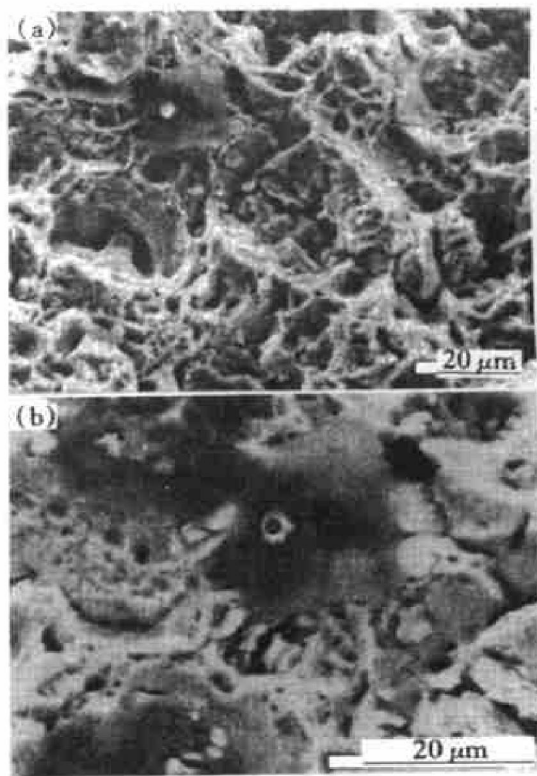


图6 拉伸断口中出现的显微裂纹

Fig. 6 Microcrack in fracture surface

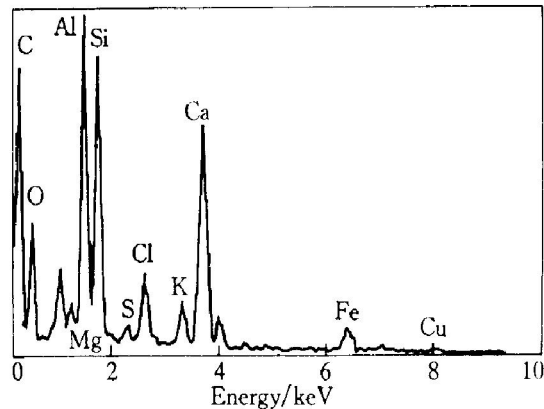


图7 图6(b)所示选区的能谱分析图

Fig. 7 Energy spectrum analysis for selected zone of Fig. 6(b)

工艺参数选择不当也会影响增强效果。图2所示形貌表明机械搅拌不充分, 造成 SiC 颗粒局部堆积聚集。在聚集处由于没有金属存在, SiC 颗粒不仅起不到增强作用, 还会成为缺陷区, 导致材料性能大幅度降低。因此, SiC 颗粒的均匀分布是液-固挤压颗粒增强铝基复合材料制备中的关键环节之一。另一重要环节则是液-固挤压工艺参数的选取。即使 SiC 颗粒均匀分布, 由于工艺参数选取不当, 同样无法得到性能优良的制品。图8所示为工艺参数不当时表面出现龟裂的制品, 此状态下, 材料的

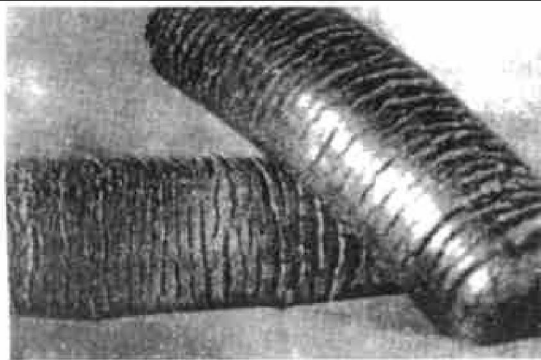


图 8 工艺参数不当时制作的制件

Fig. 8 Scrapped workpieces formed by abnormal process parameters

其它性能均达不到理想指标。作者在大量实验研究的基础上确定了合理的工艺参数, 为此类制件的制备提供了一种减少工序, 节能节材的可行方法。

[REFERENCES]

- [1] Yue T M, Chadweck G A. Squeeze casting of light alloys and their composites [J]. J of Materials Processing Technology, 1996, 58: 302– 307.
- [2] PENG Yan-ping(彭艳萍). 军用新材料的应用现状及发展趋势 [J]. Materials Review(材料导报), 2000, 14(1): 13– 16.
- [3] Goswami R K, Sikand R, et al. Extrusion characteristics of aluminium alloy/ SiC_p metal matrix composites [J]. J of Materials Science And Technology, 1999, 15(4): 443 – 448.

- [4] Hashim J, Looney L, Hashmi M S J. Metal matrix composites: production by the stir casting method [J]. J of Mater Process Tech, 1999(92– 93): 1– 7.
- [5] Kenorkijian V M, Sustarsic B. A new production technology for discontinuously enforced Al-SiC composites [J]. Key Engineering Materials, 1997(127– 131): 471 – 478.
- [6] YUAN Guang-jiang(袁广江), ZHANG Wen-feng(章文峰), WANG Diarr-bin(王殿斌), et al. SiC 颗粒增强铝基复合材料制备及机加性能研究 [J]. Journal of Composite Materials(复合材料学报), 2000, 17(2): 38– 41.
- [7] QI Le-hua. The influence of liquid extrusion on the microstructure and properties of an Al-Si alloy [J]. Materials and Manufacturing Processes, 1998, 13(3): 405– 413.
- [8] QI Le-hua, HOU Jun-jie, et al. Research on prediction of the processing parameters of liquid extrusion by BP network [J]. Journal of Materials Processing Technology, 1999, 95: 232– 237.
- [9] Logsdin W A, Liaw P K. Tensile, Fracture toughness and fatigue crack growth rate properties of silicon carbide whisker and particulate reinforced aluminum metal matrix composites [J]. Engineering Fracture Mechanics, 1986, 24(5): 737– 751.
- [10] QIN Shu-yi(秦蜀懿), ZHANG Guo-ding(张国定). 改善颗粒增强金属基复合材料塑性和韧性的途径与机制 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 2000, 10(5): 621– 629.

Microstructure and properties of $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ composite prepared by liquid-solid extrusion process

QI Le-hua, LI He-jun, SUN Le-min, SHI Zhong-ke

(Department of Mechanical Engineering, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, P. R. China)

[Abstract] The characteristics of microstructure and properties of $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ composite prepared by liquid-solid extrusion process and their mutual relation were discussed. The results show that the grains of matrix are refined and SiC particles distribute evenly and randomly. There exists no collection of SiC particles. The bonding among the particles and matrix is strong. Compared with the matrix alloy, the tensile strength increases by 20% ~ 32%. These results prove that the liquid-solid extrusion process is an effective method for manufacturing tube and bar products of metal matrix composites reinforced by particles.

[Key words] liquid-solid extrusion; microstructure; $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ composite

(编辑 杨 兵)