

Al₂O₃ 短纤维增强 Al-Si 合金复合材料的界面研究

蓝国秋

(中山大学人才交流中心, 广州 510275)

涂铭旌 李伟 李昆

(成都科技大学金属材料系)

摘要 本文采用电子探针和扫描电镜分析 Al₂O₃/Al-Si 合金复合材料的界面和拉伸断口形貌, 发现界面处有 Mg 富集; Al-Si 合金很好地润湿 Al₂O₃ 纤维, 并形成共格、半共格混合界面, 提高了界面结合强度; 纤维被剪切断裂, 无拔出现象. 用俄歇电子能谱仪对界面作深入研究, 表明界面与基体的硅和铝的峰形发生了变化, 证明峰形的变异是由形成共格、半共格混合界面引起的.

关键词 界面, 富集, 润湿, 共格、半共格混合界面, 纤维剪断, 峰形

分类号 O793

复合材料的机械性能在基体和增强体确定的情况下, 很大程度上取决于增强体与基体的界面结合强度, 良好的界面结合能够把施加在基体上的载荷传递给增强体(纤维, 晶须, 颗粒), 发挥增强体的增强效果, 因此界面现象引起了各国学者的高度重视. 对于 Al 合金能否浸润 Al₂O₃ 纤维, 学术界有不同的观点. 曾有人做过实验, 在真空中, 把 Al 合金块放置在 Al₂O₃ 纤维预制件上面, 加热至 Al 合金熔化, 在重力作用下, 熔化的金属渗进纤维预制件, 结果发现只有 Al-Mg 合金才能局部润湿纤维^[1]. 后来, Bader 等人采用压铸法制备 Al₂O₃/Al 合金复合材料, 研究表明: Al-Mg 和 Al-Si 合金能够浸润 Al₂O₃ 纤维^[2]. 但是作者没有深入研究 Al-Mg 和 Al-Si 合金浸润 Al₂O₃ 纤维的机理. 为此本文试图探索 Al-Si 合金润湿 Al₂O₃ 纤维的微观机制、界面结合方式和拉伸性能实验中纤维的断裂行为.

1 实验材料与方法

实验采用 Al-Si 合金(牌号为 ZL109)作为基体材料, Al₂O₃ 短纤维作增强体, 它们的成份见表 1. Al₂O₃ 纤维呈白色絮状, 结构为 α -Al₂O₃, 直径为 3~10 μm , 密度 2.99 g/cm³.

试样的制备: 首先把 Al₂O₃ 短纤维制成圆饼状预制件, 然后选择合适的工艺参数, 采用压铸法制备复合材料, 纤维多为垂直于轴线的平面对称取向, 如图 1 所示. 复合材料的热处理采用 T₆ 处理. 拉伸试样的制取见图 1, 剩下的边料用来制作金相试样.

收稿日期: 1994-03-02

表 1 ZL109 化学成份与 Al₂O₃ 纤维成份

Tab. 1 Composition of ZL109 and Alumina fibre

成份	Si	Mg	Cu	Ni	Al
含量/(%)	11.0~13.0	0.8~1.5	0.5~1.5	0.5~1.5	其余
成份	Al ₂ O ₃ +SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	R ₂ O	渣团
含量/(%)	≥99	~88	≤0.06	≤0.07	<5

用 X-650 型扫描电镜分析拉伸断口形貌。用 JCMA-733 电子探针针对复合材料金相试样的界面作成份分析。在作俄歇电子能谱分析之前,为排除金相试样表面氧化膜及污染膜干扰,先用 Ar 溅射表面 10min,使露出新鲜的界面,然后在 MICROLABMK II AND OPTIONS 上进行点分析。

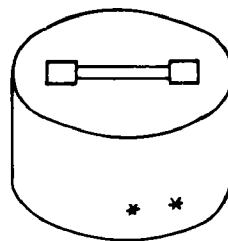


图 1 纤维的取向及拉伸试样的制取部位示意图

Fig. 1 Scheme of fibre orientation and tensile specimen position

2 实验结果与讨论

2.1 镁在界面处的分布

Al₂O₃ 纤维加入 Al-Si 合金后影响了基体中 Mg 的分布,对界面进行线分析的结果如图 2 所示。可见镁在界面处富集,这有利于 Al-Si 合金对 Al₂O₃ 纤维的润湿性。

镁是铝合金的一种表面活性元素,降低铝合金的表面张力 σ_{lg} 。在铝中加入 3% 的镁可使铝的表面张力从 $0.760\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ 降低

到 $0.602\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ ^[3],根据 Gibbs 等温吸附方程,把 Al-Si 合金熔体看成稀熔液,则有

$$\Gamma_{Mg} = - (C_{Mg}/RT) (d\sigma_{lg}/dC_{Mg})$$

式中: Γ_{Mg} 为镁在 Al-Si 合金液中的表面超量; C_{Mg} 为镁在 Al-Si 合金液中的浓度; σ_{lg} 为 Al-Si 合金的表面张力; T 为绝对温度; R 为气体常数。

由于 Al-Si 合金基体中含有 Mg,从而降低了铝合金的表面张力 σ_{lg} ,即 $(d\sigma_{lg}/dC_{Mg} < 0)$,故 $\Gamma_{Mg} > 0$,Mg 在 Al-Si 合金液表面产生正吸附,因而 Mg 在界面富集。反过来,Mg 在界面的富集降低了界面处的 σ_{lg} 。

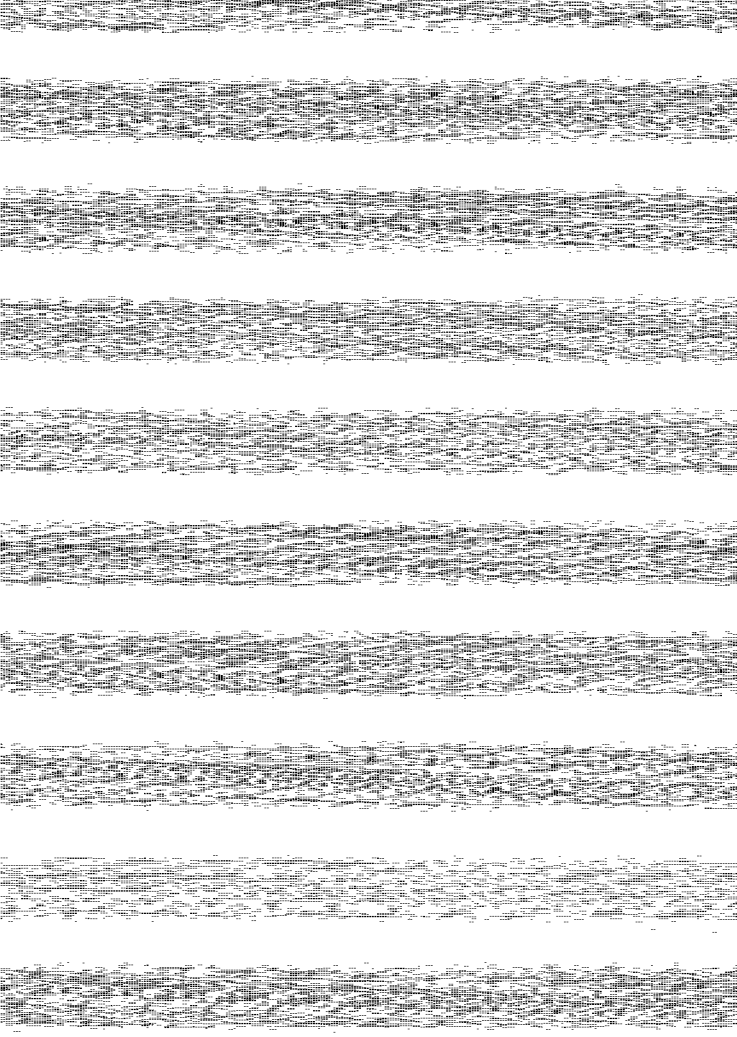
2.2 Al-Si 合金对 Al₂O₃ 纤维的润湿性能

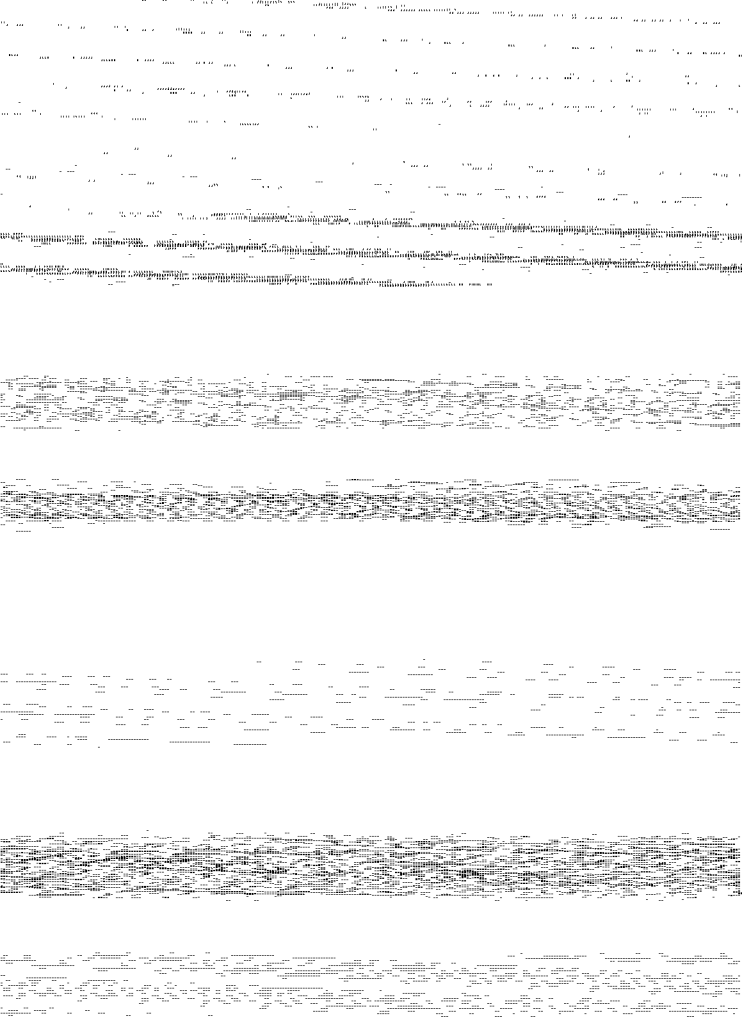
分析研究拉伸断口形貌,发现 Al-Si 合金能够很好地浸润 Al₂O₃ 纤维,如图 3 所示,图中界面致密,结合良好,以至于拉伸断裂时,裂纹在基体一侧扩展,而留下韧窝组织于纤维之上,图中清晰可见纤维上粘附着基体的蜂窝状的断口形貌。

分析表明,Mg 在界面富集降低了 Al 合金的表面张力 σ_{lg} ,同时 σ_{lg} 还与压力和温度有关,压力和温度的升高均能降低 σ_{lg} ,而对纤维的表面张力 σ_{sg} 影响不大,根据 Young 公式

$$\cos\theta = (\sigma_{sg} - \sigma_{sl}) / \sigma_{lg}$$

式中: θ 为 Al-Si 合金与 Al₂O₃ 纤维的润湿角; σ_{sg} 为 Al₂O₃ 纤维的表面张力; σ_{sl} 为 Al₂O₃ 纤维与 Al-Si 合金的界面能; σ_{lg} 为 Al-Si 合金的表面张力。





(2) 基体中的初生 Si 相可以 Al_2O_3 纤维作为衬底非自发形核长大, 并很可能形成共格、半共格混合界面。

(3) 界面处和基体的硅和铝的峰形发生变化是界面处物理变化所致, 即由于形成共格、半共格混合界面造成界面处两相点阵发生了弹性应变, 引起了 Si 和 Al 峰形的变异。

(4) 界面结合强度高于纤维的剪切强度, 以致纤维被剪切断裂, 而界面仍保持良好结合。

本实验得到赵晰明、钟毓茂、张欣婉及宁永功、谢红等老师的支持, 谨此致谢。

参 考 文 献

- 1 Bader M G. Alumina-fibre reinforced aluminium alloy castings for automotive application, in: Proc. I-AVD Congress on Vehicle Design and Components, Vol. 2, Materials and Composites, Interscience, UK, 1984
- 2 Bader M G et al. Composites Science and Technology 1985, 23: 287~301
- 3 Banerjee A, Thesis M S. University of Kerala, India, 1982
- 4 刘耀辉, 何镇明, 于思荣等. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}-4.5\text{Cu}-\text{Ce}$ 合金复合材料的界面现象. 复合材料学报, 1992, 9 (2): 89~94
- 5 周彼德, 刘政. $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}-\text{Si}$ 合金复合材料凝固组织的研究. 复合材料学报, 1990, 7 (2): 31
- 6 饶东生主编. 硅酸盐物理化学. 北京: 冶金工业出版社, 1980. 29
- 7 赵连城. 金属热处理原理. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1987. 2

Interface Study of Alumina Short Fibre-Reinforced Al-Si Alloy Matrix Composite

Lan Guoqiu * Tu Mingjing Li Wei Li Kun

Abstract The interface of $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}-\text{Si}$ alloy matrix composite is examined by means of EP-MA, and it is found that there is accumulation of Mg at the interface. The analysis of tensile fracture shows that Al-Si alloy wets alumina fibres very well, and that coherent and semicoherent mixed interface is formed increasing the interfacial strength; Alumina fibres are sheared fracture, and no fibre pull-out is observed. The detailed study on the interface with AES indicates that the peaks shape of Si and Al at the interface is different from that in the matrix due to the formation of the coherent and semicoherent mixed interface.

Keywords interface, accumulation, wettability, coherent and semicoherent mixed interface, shear fracture of fibres, peak shape

* Human Resource Center, Zhongshan University, Guangzhou 510275