

颗粒增强铝合金叠层复合材料的制备与 强度和耐磨性^①

王治海 高道勇

(中南工业大学粉末冶金研究所, 长沙 410083)

摘 要 介绍了 SiC 颗粒增强 Al-Cu 合金叠层复合材料的制备方法, 研究了叠层复合材料的抗弯强度和增强层的耐磨性与 SiC 颗粒含量的关系。结果表明, SiC 颗粒体积分数为 20% 时该材料的抗弯强度最大, 磨损量最小; SiC 颗粒与基体结合强度及层间宏观应力影响材料的强度性能。

关键词 碳化硅颗粒 铝合金 叠层复合材料

用粉末冶金方法制得含不同体积分数碳化硅的铝基粉料坯块, 随后经过热挤压工艺得到碳化硅颗粒 (SiC_p) 增强的铝基复合材料, 已有许多研究。这种用碳化硅颗粒进行整体增强的铝基复合材料, 具有高比强度、高比弹性模量和优异的耐磨性能^[1-4]。然而将这种工艺制得的复合材料, 用之于机械工业中做基础件时, 仍需极为昂贵的机加工和大量的材料损耗。为了克服以上缺点, 同时利用此类材料优异的耐磨性能, 在文献[5]中报导了碳化硅颗粒局部增强铝合金, 文献[6]研究了碳化硅颗粒增强 Al-Si 合金叠层复合材料。本文则进一步研究碳化硅颗粒增强 Al-Cu 合金叠层复合材料的制取方法, 着重讨论局部增强层材料的磨损特性和复合结构对强度的影响。

1 试样制备和试验方法

1.1 试样原料粉末

试样原料用单质元素粉末混合料。铝粉为 N₂ 气雾化的 A₀₀ 铝, 平均粒径 20 μm; 铜粉为电解铜粉, 粒度-250 目; 增强相为工业绿色碳化硅, 经球磨破碎, 平均粒径 9 μm。

1.2 试样制备方法

叠层复合材料制备工艺流程如下:

配料混合 → 层压 → 烧结 → 复压 → 试样(或热处理 → 试样)。

1.2.1 配料

增强层的基体料为 Al-4.4Cu(质量分数)。将 SiC 颗粒按体积分数 10%、20%、30%、40% 分别与基体料混合制得编号为 A₁、A₂、A₃ 和 A₄ 的四种增强层。

试样由增强层(A)和基层(B)组成。各层的化学成分见表 1。

表 1 叠层复合材料化学成分

材料类型	编号	化学成分 (体积分数/质量分数)
增强层 (A)	A ₁	10SiC _p /Al-4.4Cu
	A ₂	20SiC _p /Al-4.4Cu
	A ₃	30SiC _p /Al-4.4Cu
	A ₄	40SiC _p /Al-4.4Cu
基层	B	Al-4.4Cu(质量分数)

1.2.2 层压

增强层与基层的体积比为 1:4。第一次称 4 体积的基层料, 在钢模中轻压, 以获得足够平直的表面, 第二次称 1 体积增强层料, 装入钢模中, 使其平铺在基层料上, 在 294 MPa 压

① 收稿日期: 1995-11-09; 修回日期: 1996-03-18 王治海, 男, 57 岁, 副教授

力下冷压成形, 制得叠层压坯。

1.2.3 烧结、复压和热处理

将叠层压坯在真空炉内烧结, 炉内压力为 3~6 Pa, 以 10 °C/min 升至 595 °C 烧结 60 min, 然后以 20 °C/min 降温至 200 °C 后随炉冷却。烧结坯在 490 MPa 压力下再压缩。部分复压坯进行 T₆ 处理 (520 °C 固溶 1 h, 80 °C 水淬, 160 °C 时效 18 h)。

1.3 性能测试

用流体力学法测试样密度, 万分之一天平称重, 精度 0.01 mg。抗弯强度试样尺寸为 5 mm × 5 mm × 30 mm, 用三点弯曲法测定, 跨距 25 mm, 增强层处于受压状态。对弯曲试验断裂试样进行金相组织和 Cu 相 BE 及 SEM 断口形貌的观察与分析。耐磨性试验, 如图 1 所示, 将试样增强层顶着直径为 40 mm 的旋转环, 在有润滑和无润滑的两种情况下进行滑动摩擦, 用单位摩擦距离的磨损量作为材料耐磨性能的衡量标准。对磨旋转环是 YG 硬质合金, 硬度 89 HRA, 试样表面摩擦滑动速度为 0.94 m/s, 试验载荷为 20 N, 总行程 1.5 km。用扫描电镜观察磨损表面形貌。为了对比, 在相同条件下制备了不加碳化硅的 Al-4.4% Cu 粉末合金试样。

2 实验结果及讨论

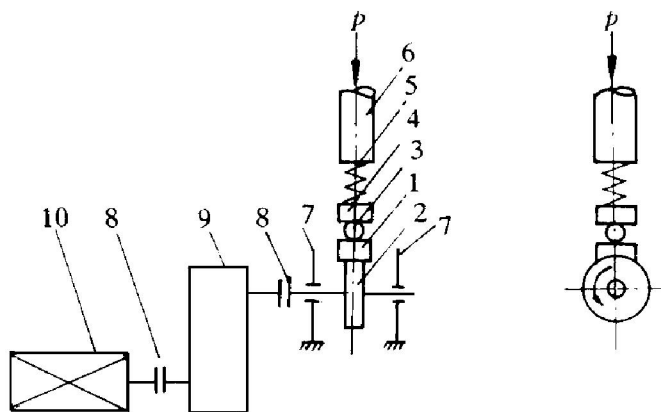


图1 在湿摩擦或干摩擦条件下评价材料摩擦行为用的装置之示意图

1—试样; 2—旋转环; 3、4、5、6—加载机构;
7—轴承; 8—离合器; 9—齿轮; 10—发动机

2.1 试样密度

初压坯、烧结坯和复压坯的相对密度与碳化硅体积分数的关系见图 2。由图可见, 在压制压力为 294 MPa 时, 初压叠层坯块的密度只随 SiC_p 体积分数的增加而稍微减小。经过 595 °C 烧结 1 h 后, 烧结坯的密度相对压坯密度有所增加, 但是密度增幅随 SiC_p 体积分数增加而降低。

在相同复压压力下, 不同 SiC_p 体积分数的复合材料最终的密度相差较大。Al-4.4% Cu 合金最终相对密度可达 98.6%, 含 40% SiC_p 的叠层材料最终相对密度为 94.2%, 材料密度的增幅随 SiC_p 体积分数增加而减小, 显然是因 SiC_p 提高了材料的抗变形能力。

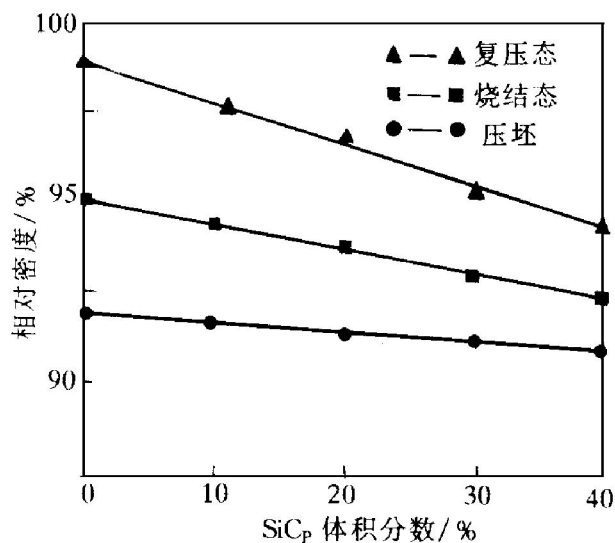


图2 复合材料的相对密度—SiC_p 含量关系图

2.2 显微结构

叠层复合材料横断面金相照片示于图 3, 可以见到增强层中 SiC_p (颗粒) 分布较均匀。从图 4 中 Cu 的 BE 图像可见, 增强层与基层晶粒大小有明显差别, 在液相烧结过程中, SiC_p 明显抑制晶粒长大, 使增强层基体材料晶粒细化。冷却过程中, CuAl₂ 相沿晶粒界面析出, 由于不平衡结晶, 更多的含 Cu 相在 SiC_p 周边沉淀。

2.3 弯曲性能

根据资料^[1, 2, 7]和前期试验^[6]确认复合材

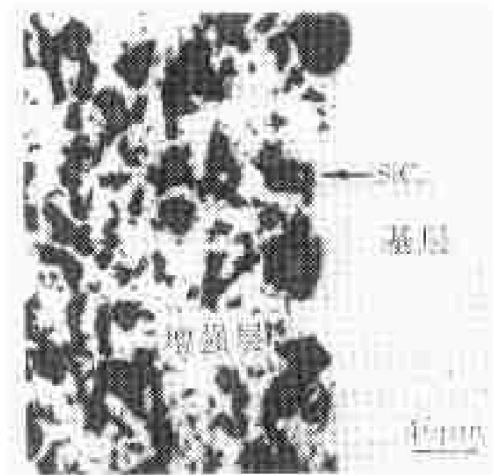


图3 体积分数为20%的 SiC_p 叠层合金金相照片(未腐蚀)

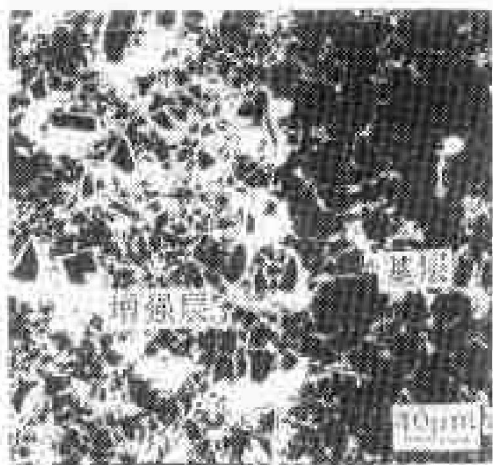


图4 体积分数为20%的 SiC_p 叠层合金 Cu 的 BE 像

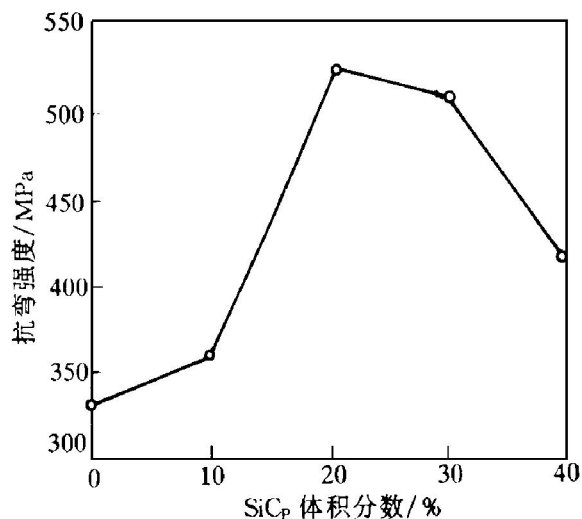


图5 SiC_p 含量对复合材料抗弯强度的影响

料中 SiC_p 含量(体积分数)为20%时具有最佳的综合性能。本研究叠层复合材料弯曲强度如图5所示,增强层为 A_2 的材料具有最大强度, SiC_p 含量增加的 A_3 、 A_4 材料强度降低,这与资料报导一致。

观察该材料的 SEM 断口形貌(图6)发现,两层之间靠增强层的一侧,有约 $20\mu\text{m}$ 宽的脆性断裂层,该层两侧的断口有明显的差异,增强层以颗粒断口为主;基层以纤维断口为主。脆性断裂层的出现,作者认为,在液相烧结过程中,由于基层(B)的收缩量大于增强层(A),在两层界面处产生宏观应力, SiC_p 与 Al 的热膨胀系数相差极大(1:10), SiC_p 周边存在高的局部应力,更有利于 CuAl_2 在该界面处的 SiC_p 周边聚集,形成脆性层。A 层中的 SiC_p 含量越多,两层间因收缩差异而产生的应力越大,脆性层越厚。脆性层的厚度,可能是控制复合材料弯曲强度的主要因素。

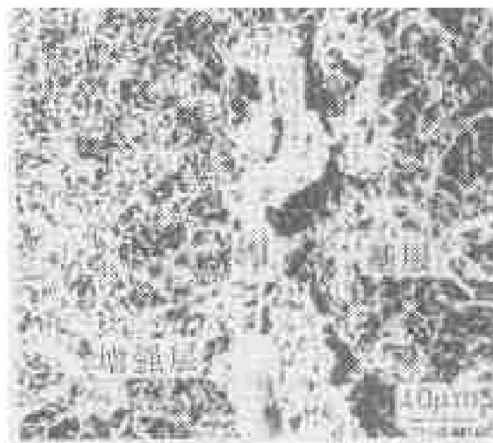


图6 体积分数为20%的 SiC_p 叠层合金 SEM 断口形貌

热处理时,特别是快速冷却时,由于增强层与基层热膨胀系数的差异导致层间内应力的产生,高 SiC_p 含量的材料,淬火后严重分层或裂开。由于所有材料 T_6 态弯曲强度均较烧结态的低,故没有列出材料的 T_6 态弯曲强度数据。

2.4 耐磨性

碳化硅体积分数对材料耐磨性的影响参见图7。

从图7可见, 复合材料增强层的磨损量明显低于 Al-4.4% Cu 合金。SiC_p 体积分数增加时, 磨损量减少, 含 20% SiC_p 材料有最小磨损量, 亦即材料的耐磨性最好。超过 20%, 磨损量增加。干摩擦、湿摩擦和 T₆ 态, 磨损规律是一致的。

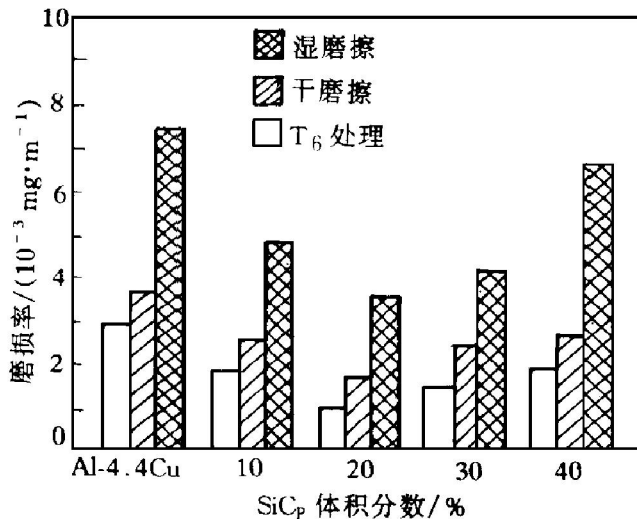


图7 SiC_p 含量对复合材料增强层磨损率的影响

从图7还可看到, 在有润滑油的摩擦条件下, 磨损量大于无润滑的干摩擦。研究表明, 在轻载荷和滑动速度不太大的情况下, 铝合金的轻微磨损都是以氧化磨损为主导的。干摩擦时, 摩擦面上易形成铝的致密的氧化膜层, 这种致密的氧化膜能阻止磨环对基体的磨削作用, 磨损表面呈现细而浅的微犁槽(图8(a)), 在有润滑油的湿磨条件下, 微薄的润滑油不足以隔离摩擦表面, 因此, 硬质合金环直接磨削材料的表面, 磨损表面呈现粗而深的犁槽(图8(b))。材料经 T₆ 处理之后, 组织中细小弥散的沉淀相既增加材料的硬度, 又降低了摩擦系数^[8,9]。这都有利于材料耐磨性的提高。

3 结论

(1) 用粉末冶金层压和复压工艺制取 SiC 颗粒局部增强 Al-Cu 合金叠层复合材料, SiC_p 体积分数在 0~40% 范围变化时, 叠层复合材料的密度随 SiC_p 体积分数的增加而降低。

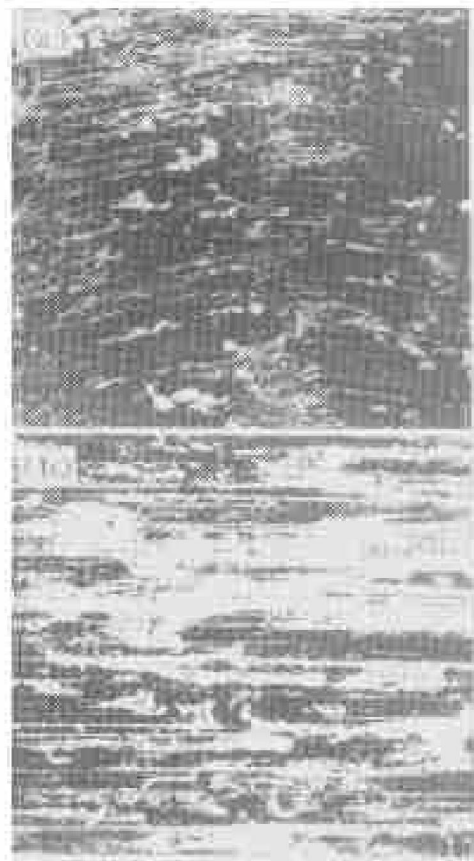


图8 磨损表面 SEM 照片 (60×)

(a) 一干摩擦; (b) 一湿摩擦

(2) 叠层复合材料的抗弯强度和增强层的耐磨性随 SiC_p 体积分数变化而有相同的变化趋势。SiC_p 含量为 20% 时, 抗弯强度和耐磨性最佳, 超过 20% 抗弯强度和耐磨性均有所下降。

(3) 层间应力差导致 CuAl₂ 相聚集形成脆性层, 影响叠层复合材料的弯曲强度。

参考文献

- 1 吴人洁. 复合材料学报, 1987, 9: 1-9.
- 2 毕敬等. 材料科学进展, 1988, 4: 95.
- 3 Velidundlu V B et al. The International Journal of Powder Metallurgy, 1991. 27(3): 220.
- 4 Trumper R L. Metal and Materials, 1987, 11: 662-667.
- 5 吉泽成则. 轻金属, 1992, 42(2): 143-148.
- 6 王治海等. 机械工程材料, 1995, 19(4): 42-45.
- 7 马宗义等. 复合材料学报, 1992, 9(2): 37-41.
- 8 戴雄杰. 摩擦学基础. 上海: 上海科技出版社, 1982.
- 9 Pamies-Teixeira J J. Wear, 1977, 44(1): 65.

FABRICATING METHOD AND STRENGTH AND WEAR RESISTANCE OF Al ALLOY LAMINATED COMPOSITE STRENGTHENED BY SiC PARTICLES

Wang Zhihai, Gao Daoyong

*Powder Metallurgy Research Institute,
Central South University of Technology, Changsha 410083*

ABSTRACT Fabricating method of Al-Cu laminated composite strengthened by SiC particles has been introduced. The relation between bending strength, wear resistance of the composite and the content of SiC particles has been studied. The results showed that, when the amount of SiC particles is 20%, the comprehensive properties of the composite, the bending strength and the wear resistance are the best. The bending strength between SiC particles and the Al-Cu matrices and the interstratified stress affect apparently the properties of the composite.

Key words SiC particles aluminium alloys laminated composite

(编辑 赖海辉)