

[文章编号] 1004- 0609(2001)06- 1009- 04

Al₂O₃ 颗粒增强铝基复合材料的半固态搅熔复合^①

程晓敏¹, 周世权², 方华斌¹

(1. 武汉理工大学 材料科学与工程学院, 武汉 430070; 2. 华中科技大学 材料学院, 武汉 430074)

[摘要] 采用半固态搅熔复合及模锻方法制备 Al₂O₃/Al 复合材料, 讨论了工艺参数对 Al₂O₃ 颗粒在铝合金液中的吸收性与分散性的影响, 并对所得复合材料的强度、冲击韧性和耐磨性进行了实验。结果表明, 通过选择合适的工艺参数, 可以很好地解决 Al₂O₃ 颗粒在 Al 合金液中的分散性问题, 所得复合材料具有一定韧性和良好的耐磨性能。

[关键词] 铝基复合材料; 颗粒增强; 搅熔复合

[中图分类号] TB 331

[文献标识码] A

复合材料以其比强度和比模量高、耐热性及减震性好等优异性能而成为结构材料发展的主要趋势。各种纤维、晶须和颗粒增强的金属基复合材料, 其应用范围已从航空和航天工业迅速向机械、汽车等领域扩展^[1~4]。铝基复合材料是最早应用于汽车工业的金属基复合材料, 近几年来已逐步在发动机活塞、连杆、汽缸套、轴承等零件中获得实际应用。颗粒增强铝基复合材料的制备技术是其应用的关键问题^[5~8], 本文作者提出并探讨了半固态搅熔复合的工艺方法及机制, 并对所得复合材料的性能进行了试验研究。

1 实验方法

1.1 材料

基体材料选用 AFSi 合金。为改善 Al 合金液对 Al₂O₃ 的润湿性, 加入少量 Mg。所配制的基体合金成分(质量分数)为: 5.8% Si, 1.0% Mg, 其余为 Al。Al₂O₃ 颗粒平均粒径约 25 μm。

1.2 制备方法

采用搅熔复合及半固态模锻法制备 Al₂O₃/Al 复合材料, 自制设备如图 1 所示。加热装置为 5 kW 石墨坩埚电阻炉, 炉温控制精度 ±2 °C。搅拌装置采用无级调速电机, 转速从 0~ 1 500 r/min 无级调速。模锻工艺参数为: 模具预热温度 350 °C, 成型压力 140 MPa, 保压时间 30 s。

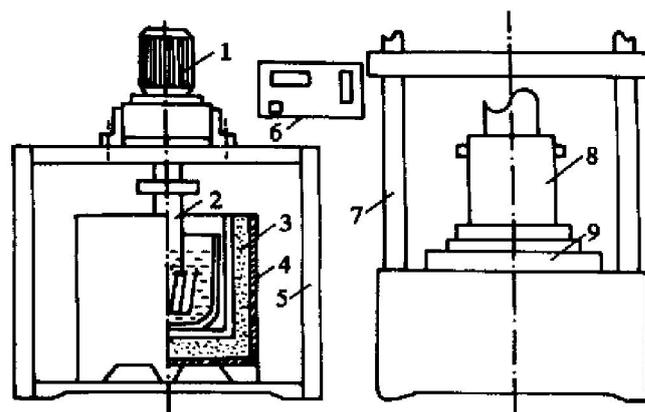


图 1 复合材料制备装置示意图

Fig. 1 Sketch of set-up for composites preparation

- 1—Regulating speed motor; 2—Stirring apparatus;
- 3—Crucible; 4—Electric resistance furnace; 5—Bear frame;
- 6—Control device; 7—Pressure machine;
- 8—Force plunger die; 9—Footing frame

1.3 工艺实验

为了解搅熔复合工艺对 Al₂O₃ 颗粒在 Al 合金中的含量(体积分数)及分布均匀性的影响, 特引入吸收率与分散率的概念:

$$f_a = V_a / V_t$$

$$f_d = V_d / V_a$$

式中 f_a 为吸收率; f_d 为分散率; V_a 为铝合金中吸收的粒子体积分数; V_t 为加入到铝合金中的粒子分数; V_d 为分散状态存在于铝合金中的粒子分数。 V_a 和 V_d 通过定量金相法测定。

1.4 测试条件

① [基金项目] 湖北省自然科学基金资助项目(9152024054- 91J22)
[作者简介] 程晓敏(1964-), 男, 副教授, 博士研究生。

[收稿日期] 2001- 03- 09; [修订日期] 2001- 06- 14

粒子分散性及组织观察在 AMRAY-1830A 型扫描电子显微镜上进行。拉伸试验采用 1 t 拉伸试验机; 冲击试验采用 150 Nm 摆锤式冲击试验机; 磨损试验采用 MM-200 型磨损试验机, 对磨试样为 GCr15, 载荷 150 N, 干摩擦, 称重采用 TS14-2 型分析天平。

2 结果与讨论

2.1 Al₂O₃/Al 复合材料的制备

将配制好的 Al 合金棒材放入炉中熔化, 搅拌温度为 580~ 640 ℃, 使合金液中含 5%~ 40% 的固相 α(Al)。通过调速电机的高速搅拌, 使 Al 液的动力粘度下降, 流动性增加, 利用半固态合金液的触变特性, 高速运动的 Al 液与 Al₂O₃ 颗粒的相互碰撞来捕获 Al₂O₃ 粒子, 从而使 Al₂O₃ 颗粒能均匀地分布于熔体中。

浇注前, 压模要预热; 浇注过程中, 操作要迅速, 以保证在半固态下加压, 去除疏松、气孔等缺陷。Al₂O₃ 颗粒在铝合金基体中的分布如图 2 所示。

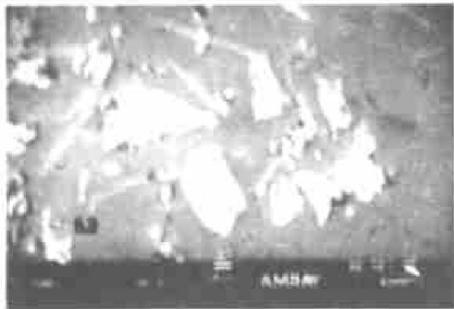


图 2 Al₂O₃/Al 复合材料的显微组织

Fig. 2 SEM micrograph of Al₂O₃/Al

2.2 Al₂O₃ 颗粒的吸收性、分散性与搅熔复合工艺之间的关系

搅熔复合工艺参数的选择对 Al₂O₃ 颗粒在 Al 液中的吸收与分散情况有显著影响。当 Al₂O₃ 含量较高时, 吸收率和分散率下降。图 3 和图 4 所示分别为搅拌温度、搅拌速度对吸收率与分散率的影响 (Al₂O₃ 含量为 30%, 搅拌时间为 5 min)。

由图 3 可知, 粒子的吸收率随搅拌温度的升高呈单调增大趋势, 而分散率当搅拌温度为 620 ℃时达最大值。这可解释为: 搅拌温度增高时, 铝合金粘度下降, 粒子混入的阻力减小, 有利于粒子的吸收。但温度增高时, 铝合金液中初生 α 相的相对量减小, 对粒子的碰撞捕获和吞陷作用减弱, 粒子极易成团块状聚集, 从而使分散率降低。由图 4 可知, 随着搅拌速度的增加, 吸收率与分散率均随之增

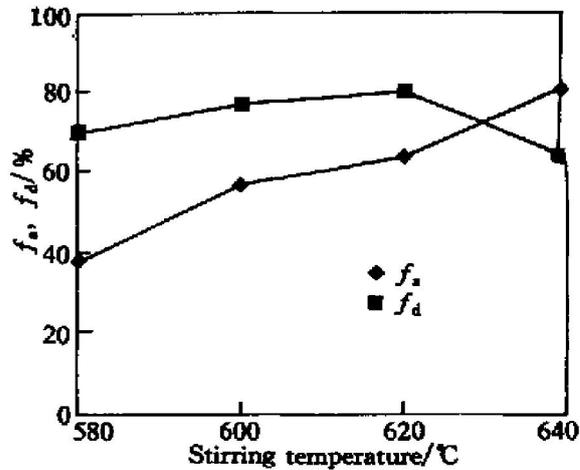


图 3 吸收率、分散率与搅拌温度的关系

Fig. 3 Dependences of absorbability and dispersiveness on stirring temperature

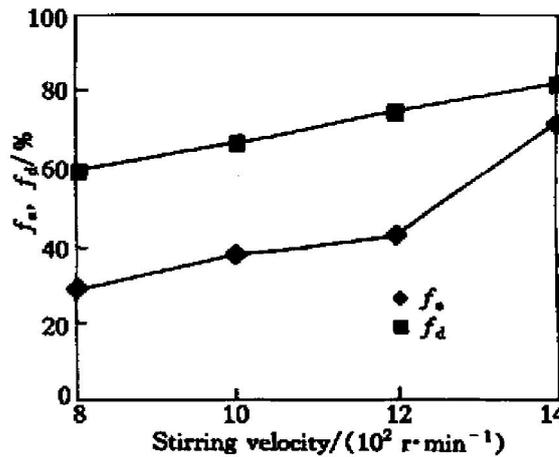


图 4 吸收率、分散率与搅拌速度的关系

Fig. 4 Dependences of absorbability and dispersiveness on stirring velocity

大, 特别是当转速达到 1 400 r/min 时, 铝合金液的动力学粘度明显下降, 高速搅拌使成团颗粒随之分散, 从而吸收率与分散率显著增大。

2.3 Al₂O₃/Al 复合材料的性能

Al₂O₃/Al 复合材料的冲击韧性和拉伸试验结果如表 1 所示。

表 1 Al₂O₃/Al 复合材料的冲击和拉伸试验结果

Table 1 Mechanical properties of Al₂O₃/Al composites

Composite	Impact toughness / (J·cm ⁻²)	Tensile strength/MPa	Extension rate/%
10% Al ₂ O ₃ /Al	5.8	180	1.65
20% Al ₂ O ₃ /Al	3.2	115	1.06
30% Al ₂ O ₃ /Al	2.1	83	0.72

从表 1 结果可以看出, 随着 Al_2O_3 含量的增加, 复合材料的冲击值、抗拉强度和延伸率均随之下降。对于颗粒增强金属基复合材料, 颗粒的加入主要使材料的耐磨性和弹性模量增加, 同时降低材料塑性^[9, 10]。颗粒分布不均匀现象是造成复合材料性能不稳定的主要因素, 裂纹最有利的形核位置往往处于增强体体积分数高的局部区域^[11, 12]。

图 5 所示为 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 复合材料的磨损曲线。由图可见, Al_2O_3 颗粒的加入使铝合金的耐磨性明显提高。与基体材料相比, 耐磨性提高近 5 倍。 Al_2O_3 含量进一步增加时, 耐磨性增加不明显, 这是因为颗粒含量过高将使材料脆性增大, 在磨损过程中易产生脆裂而增加磨损量。所以, 综合考虑复合材料的强度、塑性和耐磨性, Al_2O_3 颗粒的含量以 20% 为宜。

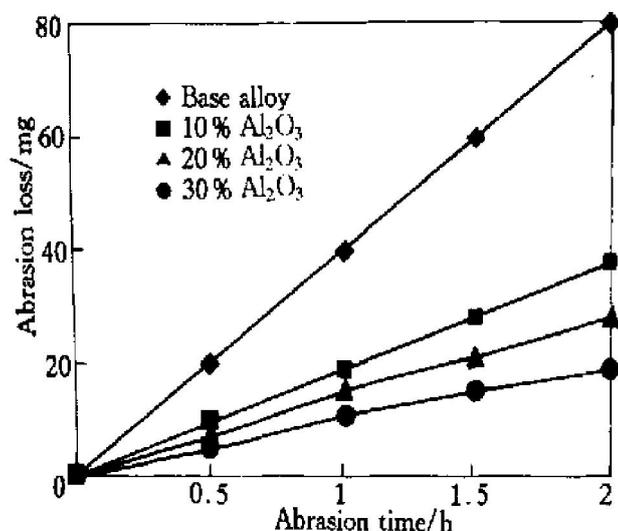


图 5 磨损量与时间的关系曲线

Fig. 5 Dependence of abrasion loss on abrasion time

3 结论

1) 半固态搅熔复合机制为浸润吸收与碰撞吞陷, 通过选择合适的工艺参数可使 Al_2O_3 颗粒在 Al 合金液中均匀分散。

2) Al_2O_3 颗粒的加入使材料耐磨性明显提高, 同时降低塑性和抗拉强度。考虑材料的综合性能, Al_2O_3 含量以 20% 为宜。

[REFERENCES]

[1] CHENG Xiao-min(程晓敏), CHEN Tie-qun(陈铁群), ZHOU Shi-quan(周世权), et al. 石墨-Al 基复合材料

制备工艺及性能 [J]. Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University (武汉汽车工业大学学报), 1997, 19(3): 43- 46.

- [2] ZHOU Ma-na(周曼娜), WEI Jian-feng(魏建峰), QUAN Gao-feng(权高峰), et al. Al_2O_3 颗粒增强纯铝基复合材料的研究 [J]. Acta Materiae Compositae Sinica(复合材料学报), 1993, 10(3): 51- 55.
- [3] ZHU He-xiang(朱和祥). 铝基复合材料 [J]. Automotive Process and Materials(汽车工艺与材料), 1993(8): 30- 35.
- [4] Lolly M. Opportunity for Al-based fiber reinforced metal matrix composites in automotive castings [J]. The Foundryman, 1990(11): 509- 513.
- [5] ZHOU Shi-quan(周世权), SHEN Yu-li(沈豫立), CHENG Xiao-min(程晓敏), et al. 颗粒增强铝基复合材料的搅熔复合工艺及机制 [J]. Journal of Wuhan Automotive Polytechnic University(武汉汽车工业大学学报), 1997, 19(1): 29- 33.
- [6] LUO Shou-ting(罗守靖), TIAN Wen-tong(田文彤), XIE Shui-sheng(谢水生), et al. 半固态加工技术及应用 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 2000, 10(6): 765- 772.
- [7] LI Qing. Interface structure in infiltrated composites of aluminium reinforced with alumina-silica fiber preforms [J]. Metall, 1991, 22A(5): 1126- 1133.
- [8] YUAN Guang-jing(袁广江), ZHANG Wen-feng(章文峰), WANG Dian-bin(王典宾), et al. SiC 颗粒增强铝基复合材料制备及机加工性能研究 [J]. Acta Materiae Compositae Sinica(复合材料学报), 2000, 17(2): 38- 41.
- [9] WU Gao-hui(武高辉), ZHAO Yong-chun(赵永春), MA Sen-lin(马森林). 亚微米级 Al_2O_3 颗粒增强 LD2 铝合金复合材料的拉伸性能与强化机制 [J]. Acta Materiae Compositae Sinica(复合材料学报), 1998, 15(3): 21- 25.
- [10] FANG Hao(方浩), ZHANG Guo-ding(张国定). Al_2O_3 短纤维/SiC 颗粒混杂增强铝合金复合材料 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1999, 9(3): 458- 463.
- [11] WU Shu-sen(吴树森), HUANG Nai-yu(黄乃瑜), AN Ping(安萍). Interactions of particles with solidifying front in $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{P}/\text{AlSi}$ composites [J]. Trans Nonferrous Met Soc China, 1999, 9(3): 524- 529.
- [12] 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- 628.

Melt-stirred composing in semi-solid for Al_2O_3 particulate reinforced aluminium matrix composites

CHENG Xiaomin¹, Zhou Shiruan², FANG Huabin¹

(1. School of Materials Science and Engineering, Wuhan University of Technology,
Wuhan 430070, P. R. China;

2. School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology,
Wuhan 430074, P. R. China)

[Abstract] $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ composites were manufactured through melt-stirred composing and die-forging in semi-solid. The effect of processing parameters on the absorbability and dispersiveness of Al_2O_3 particulate in aluminium liquid was investigated. The strength, impact toughness and wear resistance of the composites were also examined. Results show that the problems of the dispersiveness of Al_2O_3 particulate in aluminium liquid can be solved effectively by alternative processing parameters. The composites possess relative toughness and good wear resistance.

[Key words] aluminium matrix composites; particulate reinforced; melt-stirring composing

(编辑 吴家泉)