

颗粒增强 Al/Si 复合材料的制备工艺研究

程兆虎, 钱怡君, 于浩

(合肥工业大学 材料科学与工程学院, 合肥 230009)

摘要: 研究用浸渗法制备颗粒增强铝硅复合材料的工艺。采用加压渗流将铝液压入到硅颗粒间隙中制备复合材料, 分析了不同粒度颗粒增强相对复合材料浸渗长度及 Si 含量的影响。结果表明: 利用浸渗法制备的 Al-Si 复合材料硅的体积分数可高达 60% 以上, 随颗粒度的减小而增加。

关键词: 复合材料; 浸渗法; 颗粒增强

中图分类号: TG146.2⁺1; TG249.3 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2012)01-0009-03

Preparation Technology Research of Silicon Particle Reinforced Aluminum Matrix Composites

CHENG Zhao-hu, QIAN Yi-jun, YU Hao

(School of Material Science and Engineering, Hefei University of Technology, Hefei 230009, China)

Abstract: The process of preparing silicon particle reinforced aluminum matrix composites by impregnation method was studied. Aluminum alloy was pressed in the clearance of Si particle by compressive infiltration to prepare composites. The effects of different particle sizes on the aluminizing length of precast block and the content of Si were analyzed. The result indicates that the content of silicon in composites can reach to 60% in the Al-Si composites by the impregnation method, and the content of Si is increased as the granularity decrease.

Key words: composites; impregnation method; particle reinforced

随着科学技术的发展, 复合材料因其具有可设计性的特点受到科学界的重视^[1]。颗粒增强复合材料是集结构功能与一体的新型材料, 具有良好的耐磨、抗腐蚀性和铸造性能, 因而发展很快, 在航空航天工业中有着广泛的应用前景。近年来, 高硅含量的 Al/Si 复合材料广泛应用于微型电子电路行业, 电子封装材料中, 由于其具有膨胀系数低以及质量轻等优点, 因而在电子封装复合材料中有很大的发展空间。以 Si 颗粒作为增强相加入铝液中, 其回收利用率较高, 相对于目前广泛应用的 SiCp/Al 复合材料更经济环保。Al/Si 复合材料常用的制备方法

有搅拌混合法、粉末冶金法、喷射沉积法等^[2]。由于采用搅拌混合法所制得的硅含量不高, 粉末冶金与喷射沉积法所需模具设备及材料费用较高, 浸渗法可以制备出硅含量高而成本又低廉的 Al/Si 复合材料。根据颗粒增强复合材料的原理, 笔者采用浸渗法制备高硅含量的 Al/Si 复合材料。

1 工艺原理

首先, 将准备好的硅颗粒利用筛砂机对其分类筛选; 然后加入无水乙醇利用超声波清洗机对选取

的硅颗粒进行除杂处理,将清洗后的硅颗粒放入干燥箱中低温烘干;再用电子秤称取一定量硅颗粒置于自制金属模具中,浇入铝液,对其施压,使铝液在压力作用下均匀压入硅颗粒间,得到颗粒增强 Al/Si 复合材料。实验工艺流程如图 1 所示。

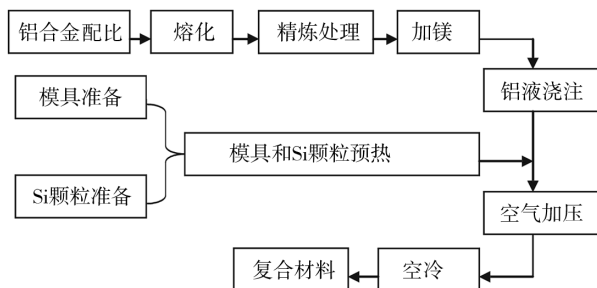


图 1 复合材料制备流程

Fig. 1 Preparation diagram of composites

2 复合材料制备工艺

2.1 Si 颗粒的预处理

1) Si 颗粒的筛分。将粉碎之后的硅颗粒,放入筛砂机中筛分,分别选取 70~100 目,100~140 目,140~200 目等 3 种粒度颗粒备用。

2) Si 颗粒的清洗。将筛分之后的 3 种硅颗粒分别加入盛有丙酮或无水乙醇的容器中,放入 KS-3000 超声波清洗机中分 2 次(首次设定时间为 30 min,第 2 次设定时间为 20 min)进行除杂处理,主要除去表面油污等杂质。

3) Si 颗粒的烘干。将除杂后的硅颗粒放入干燥箱中烘干,温度设为 150 °C,时间为 5~6 h,用以蒸发掉清洗过程中颗粒中的水分,分别装入不同瓶中标记好备用。

2.2 铝合金成分配比

由于实验过程中需要通过气体加压将合金液渗入预热模具里的硅颗粒中,金属液的流动性起关键作用,而对于纯铝,其金属液的流动性较差,不易浸渗。该实验采用 Al 与 ZL102 合金进行配比,加入少量 Mg 增加其与 Si 的润湿性,更好地改善合金液的流动性,使合金液较易浸渗。考虑到铝液在加热熔化过程中各元素的烧损率^[3],实验所用的铝液成分见表 1。

表 1 铝合金成分配比

Table 1 The content of the aluminum alloy %		
纯铝	ZL102	Mg
50~55	44.5~49.6	0.4~0.5

2.3 实验过程

用电子秤称取一定量 Si 颗粒放入准备好的金属模具中,将两者一并放入箱式电阻炉中缓慢预热至 500~620 °C,保温 0.5 h。同时将称量配比好的 Al 与 ZL102 合金放入坩埚置于井式电阻炉中过热至 700~800 °C,待铝液全部熔化,精炼撇渣后,加入事先称量后用铝箔包裹好的 Mg 块,静置 10~20 min,再撇渣静置 10~15 min 后浇入模具中,并对铝液施加 0.2~0.4 MPa 的气压,使铝液完全填充至预热模具里的硅颗粒中。该实验采用自制模具,其加压浸渗实验装置如图 2 所示。

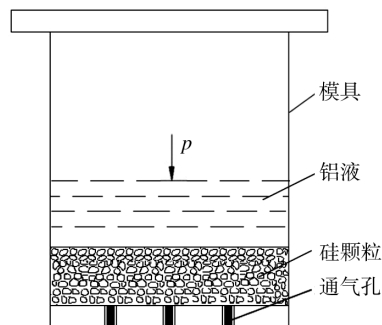


图 2 渗流实验装置示意

Fig. 2 Schematic diagram of pressure infiltration casting

3 模具清理及 Si 的体积分数测定

待模具冷却至室温,从模具底部将所制得的复合材料敲出,用砂纸打磨掉顶部及底部耐火泥,放归原处。切割试样并检测其表面宏观质量,随着渗流长度的延伸,试样表面开始出现疏松。出现此现象的主要原因是加压过程中,随着铝液的逐渐渗入,颗粒间间隙在压力作用下由原先的松散状变得密集,渗流前端所受的阻力加大,渗入硅颗粒间的铝液量减少。所得复合材料的切割试样表面如图 3 所示。

切取小块,利用排水法(式 1)测量复合材料的密度:

$$\rho_{\text{Al/Si}} = m_{\text{Al/Si}} / V_{\text{Al/Si}} \quad (1)$$



图3 试样切割
Fig. 3 Cutting of sample

再用复合材料中增强相体积分数计算方法算出所制得复合材料中硅的体积分数^[4]:

$$\varphi_{\text{Al/Si}} = (\rho_{\text{Al/Si}} - \rho_{\text{Al}}) / (\rho_{\text{Si}} - \rho_{\text{Al}}) \quad (2)$$

所制备复合材料中硅的体积分数在 60% 以上,且随硅颗粒粒度的减小而增加。

4 复合材料渗流长度的测定

将获得的柱形复合材料试样沿轴心线切割,测量试样的长度即为铝液在颗粒中的渗流长度,检测试样中心的宏观缺陷情况,考察渗流质量^[5]。

不同颗粒度在相同的预热温度及铝液浇注温度下,颗粒度越大,渗流长度越长,如图 4 所示。从曲线的斜率可以看出,随着硅颗粒粒度的逐渐减小,渗流长度急剧减小。

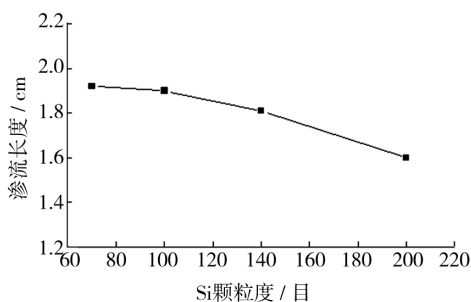


图4 渗流长度与粒度的关系

Fig. 4 The relationship between the infiltration flow length and the granularity

由此可见,颗粒度的大小对渗流长度具有显著地影响,颗粒间隙大小及颗粒的规则度是造成渗流长度短的主要原因。由于渗流过程中铝液在压力作用下以其特有的顺序凝固形式向前推进,当间隙过小或颗粒规则度过高时,液体前端很难继续推进,后续过热液体难以向前补充,在外界温度的影响下,渗

流前沿的液体开始凝固,因此,增加颗粒间的间隙及降低颗粒的规则度对渗流长度的增加将起到显著效果。

5 需注意的问题

1) 模具的密封。为了能够排除人为因素的干扰,模具的密封至关重要,在进行渗流过程中,模具的密封效果要得到保证,以免在加压过程中压力降低太快,对实验结果产生影响。

2) 模具的预热。模具的预热时间不可过短,若时间过短, Si 颗粒间的水分未完全蒸发,在浇注过程中,将会发生爆炸,危及人身安全;预热温度亦不可过高,温度过高将会缩短模具的使用寿命。

3) 整个浇注过程时间控制在 30 s 之内。

6 结语

1) 以 Si 颗粒为基体,利用浸渗法制备的 Al/Si 复合材料所含 Si 体积分数可达 60% 以上。

2) 随着 Si 增强颗粒的减小,所制得 Al/Si 复合材料中 Si 的体积分数增加,渗流长度减小。

3) 铝液的配比可改善铝液在浇注过程中的流动性,增强与 Si 颗粒的润湿性。

参考文献:

- [1] 高义民. 金属凝固原理[M]. 西安:西安交通大学出版社,2010:288—290.
- [2] 杨伏良,甘卫平,陈招科. 高硅铝合金几种常用制备方法及其细化机理[J]. 材料导报,2005,19(5):42—44.
- [3] 刘伯操,郎业方,杨长贺,等. 铸造手册铸造非铁合金卷[K]. 北京:机械工业出版社,2002.
- [4] 潘振亚,程和法,黄笑梅,等. 高能超声半固态复合材料制备 SiC_p/ZL101 复合材料的研究[D]. 合肥:合肥工业大学,2009:31—32.
- [5] 程和法,黄笑梅,陈国宏. 渗流法制备泡沫铝合金工艺的研究[J]. 轻合金加工技术,2001,29(1):38—42.