

超声液相铸造 SiC_w / Al 及 SiC_p / Al 复合材料^①

吕毓雄 毕敬 申红伟 马宗义 高荫轩

(中国科学院金属研究所)

摘 要

用超声液相铸造新技术制备了碳化硅晶须及碳化硅颗粒增强铝基复合材料。证明铸造时对铝液进行超声振荡可以促进增强相与铝液的润湿,改善增强相在铝基体中分布的均匀性,减少气孔率,且用超声液相铸造技术制备的铝基复合材料具有较好的重熔性。还对超声液相铸造的 SiC_w / Al 和 SiC_p / Al 复合材料制备过程特点、显微组织特征、断口形貌及重熔性能进行了初步探讨。

关键词: 超声液相铸造 碳化硅晶须 铝基复合材料 重熔性

液相铸造技术是在复合材料制备过程中将增强相直接加入铝液,混合均匀后浇铸成锭;工艺过程简单,且原材料便宜,有可能大幅度降低复合材料的价格,具有推广应用前景。用液相铸造法制备颗粒增强铝基复合材料已有许多报导^[1-3],但用于制备 SiC_w 增强铝基复合材料的情况还不多见。在液相铸造法制备 SiC_w / Al , SiC_p / Al 复合材料的研究过程中,发现用超声波对铝液进行振荡,可以促进增强相与铝液的润湿过程,并改善增强相在铝基体中的分布均匀性和减少气孔率。早期 Rohatgi 曾报道^[1]超声振荡可改善增强相与液体金属润湿性,但未见详细的报道。近来有关超声波在铸造铝基复合材料的应用方面又有所报道^[4]。本文针对上述情况,对超声液相铸造复合材料制备过程的特点、显微组织特征、断口形貌及重熔特性进行了初步探讨。

1 实验程序

实验中用 LY12, LF11 及 Al-6 wt. %Si

铝合金作为基体材料,用国产平均尺寸为 10 μm 的 $\alpha\text{-SiC}$ 颗粒及日本东海碳素公司生产的 TWS-200 目 $\beta\text{-SiC}$ 晶须作为增强相,用 1 kW 超声发生装置作为超声源,在进行过程中适当调整共振频率。复合材料的制备工艺要点是:置于坩锅内的铝合金经加热熔化和除气后,加入预处理过的 SiC_w 或 SiC_p 用超声波振荡,混合适当时间,待增强相分散均匀后浇铸成锭。从铸锭中切取试样用光学显微镜、透射电镜及扫描电镜对复合材料的显微组织及断口形貌进行观察。采用差热分析技术和金相组织观察,对复合材料的重熔性能进行评价。

2 实验结果与讨论

超声发生器通过变幅杆集中能量,在介质中传播时变幅,前部产生强烈的超声振荡,由超声振荡产生的高压形成的“空泡效应”,可对液体和加入其中的增强相进行充分搅拌,破碎其表面氧化膜和净化表面,从而改善润湿性能。众所周知,细小的碳化硅晶须或碳化硅颗

^①本课题属国家自然科学基金资助项目(编号 58971022);本文于 1992 年 6 月 1 日收到

粒与铝液的润湿性差, 为此, 在铸造复合材料的发展过程中, 曾经采用过不少对策, 但都未获得推广使用。而在铸造过程中对铝液进行超声波振荡, 可以显著改善碳化硅与铝液之间的润湿性, 使碳化硅颗粒的加入量可以达到 20 vol.-% 以上; 又由于超声波的强烈搅拌作用, 碳化硅等增强相将在铝基体中得到比较合理的分布。采用超声振荡还可利用液相铸造技术制备碳化硅晶须以增强铝基复合材料。图 1(a) 和 (b) 分别表示铸造状态下 7 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 和 15 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 复合材料的金相照片。作为参照, 图 1(c) 也给出了粉末冶金法制备的 20 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 的金相照片。图 2 则给出铸造状态下的 10 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{Al-Si}$ 与 20 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{LF11}$ 复合材料的金相照片。由图可见, 超声铸造及不同基体和增强相含量情况下, 增强相在基体中都有合理的分布。增强相含量较少时, 在凝固过程中会由于结晶前沿的推斥作用, 使 SiC_p 有沿晶界偏聚的趋势(图 1(a)); 增强相含量增加后, 可能由于 SiC_p 的数量增加, 又经过超声振荡, 凝固时的结晶核心增加, 晶粒细化, 分布更趋合理。通常情况下, 粉末冶金热压工艺制备的复合材料, 增强相分布比较均匀, 但这种均匀性也受到所用铝合金粉末粒度的限制。目前, 国内快冷凝固铝合金粉末的粒度分布大致集中在 140~280 目之间, 热压 20 vol.-%

SiC_p/Al 复合材料的无增强相区尺寸约为 20 μm (图 1(c)), 超声液相法铸造的 15 vol.-% SiC_p/Al 复合材料的无增强相区约 35 μm , 而用超声铸造有可能使增强相的分布均匀性接近粉末冶金的水平。图 3 为超声液相法铸造的 SiC_w/Al 复合材料的金相照片。由图可见, 在液相条件下混合, 晶须受到的损伤较小, 具有较高的长径比, 分布均匀性也可达到合理水平。由上述金相照片及透射电镜照片(图 4)可见, 增强相与基体有良好的结合, 未见明显的反应产物。

吸取流变铸造法^[5]在固液两相区进行强烈搅拌时难于避免气泡卷入、铝合金本身吸收的气体也难以排出的教训, 本研究一方面进行除气处理, 同时又在液相条件下加入增强相进行搅拌与超声振荡, 既避免了气体的卷入又可排出铝合金吸收的气体, 从而得到了较致密的 SiC_p/Al 铸造组织。

图 5 是铸态 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 的拉伸断口形貌。铸态铝基复合材料的宏观断口虽较平直, 微观断口却由韧窝撕裂岭与准解理面构成, 断口上可以观察到二次裂纹与微孔。从图 5 可见 SiC_p 在断口中具有合理的分布, 碳化硅增强相与基体具有较好的结合。

超声铸造复合材料经重熔后仍可保持增强相在基体中的合理分布(图 6)。

按照下式:

图 1 超声液相铸造的 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 的金相照片

(a)—7 vol.-% SiC_p ; (b)—15 vol.-% SiC_p ; (c)—P/M 法 20 vol.-% $\text{SiC}_p/\text{LY12}$

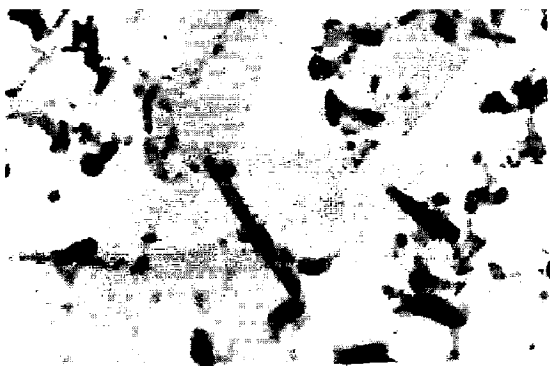


图3 超声液相铸造的 SiC_p / Al 的金相照片
($\times 900$)



图4 超声液相铸造的 $\text{SiC}_p / \text{LY12}$ 的
TEM 照片($\times 90\,000$)

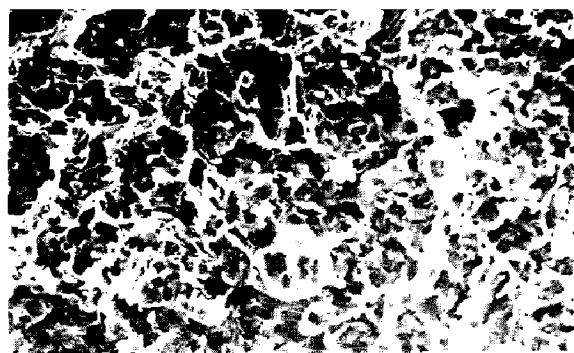
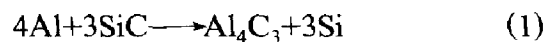


图5 超声铸造 SiC_p / Al 的断口形貌



在一定的条件下, 液态铝将和 SiC 反应生成 Al_4C_3 。在增强相与铝界面生成的 Al_4C_3 使复合材料的强度及化学稳定性下降, 因此应避免生成 Al_4C_3 。图6给出了不同基体超声液相铸造复合材料重熔后的金相照片。含硅量少的 $\text{SiC}_p / \text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$ 复合材料, 其 SiC_p 已在一定条件下和 Al 产生了反应(图6(a)); 而含量高的 $\text{SiC}_p / \text{Al}-\text{Si}$ 复合材料, 其 SiC_p 比较稳定, 没有出现明显的反应。除金相观察外, 复合材料的重熔性能还可以采用差热分析技术来表明, 即通过测定复合材料的熔点变化, 说明 SiC 增强相和铝基体反应的程度。根据方程式(1), 在 SiC_p 与 Al 反应生成 Al_4C_3 的同时将析

图6 重熔超声铸造复合材料金相照片($\times 400$)(a)— $\text{SiC}_p/\text{Al}-\text{Cu}-\text{Mg}$; (b)— $\text{SiC}_p/\text{Al}-\text{Si}$

出 Si。由 Al-Si 二元相图可知硅含量增加可使铝合金熔点下降。本实验测定了超声铸造 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 及重熔后 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$ 的熔点变化。获知超声铸造的 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$, 熔点为 637°C ; 重熔后的 $\text{SiC}_p/\text{LY12}$, 熔点是 624°C , 说明经过重熔后有少量的 Si 析出。Lloyd D J 报道^[6], 经挤压的铸造 $\text{SiC}_p/6060$ 重熔并在 900°C 保持 1 h 后, 其熔点可从 633°C 下降到 577°C 。综上所述, 超声液相铸造复合材料重熔后可以保持 SiC_p 在基体中的合理分布, 没有产生明显的反应, 具有较好的重熔性。

3 结论

(1) 已用超声液相铸造法成功地制备了不同基体增强相的 SiC_w/Al 、 SiC_p/Al 复合材料;

(2) 在液相铸造复合材料制备过程中, 加

入超声振荡可以改善碳化硅增强相与铝基体的润湿性, 提高增强相在基体中的分布均匀性, 减少气孔率;

(3) 超声液相铸造法制备的碳化硅增强铝基复合材料具有较好的重熔性。

参考文献

- 1 Rohatgi P K, Asthana A and Das S. *Int Metals Rev*, 1986, 31(3): 115.
- 2 Hammond Donald E. *Modern Casting*, 1989, 8: 29-31.
- 3 Kcbashi Makoto, Choh Takao. *J Japan Inst Metals*, 1991, 79-84.
- 4 Srivatsan T S *et al.* *J Materials Science*, 1991, 26: 5965-5978.
- 5 曹利等. 见: 第三届中国青年材料科学研讨会论文集, 1991.
- 6 Lloyd D J *et al.* *Materials Science and Engineering*, 1989, A107: 73-80.