

多层喷射共沉积法制备 6066 铝合金/SiC 颗粒复合材料^①

陈振华 张 豪 刘秋林 陈 刚 孙章明 杨伏良

(中南工业大学非平衡材料科学与工程研究所, 长沙 410083)

摘 要 采用多层喷射共沉积工艺制备 6066 铝合金/15% SiC 颗粒复合材料, 得到了增强颗粒分布均匀、增强颗粒与基体界面洁净、基体冷凝速度高的沉积坯, 沉积坯经挤压后进行 T6 状态处理, 其力学性能为 $\sigma_b = 640 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2} = 510 \text{ MPa}$, $E = 133 \text{ GPa}$, $\delta = 9.4\%$ 。

关键词 6066 铝合金 碳化硅颗粒 喷射沉积 复合材料

1 颗粒强化金属基复合材料的几种制备方法

金属基复合材料, 除包层复合材料外, 根据强化材料的几何形状可分为三种类型, 即晶须强化、颗粒强化及纤维强化复合材料。颗粒强化复合材料主要采用细小颗粒来强化基体, 其强化机理是坚硬的颗粒增强相承受载荷并约束基体的变形。这类复合材料的强化取决于颗粒间距、直径和体积分数。制备方法主要有粉末冶金法、搅拌铸造法和压力渗透法。

粉末冶金是采用基体金属粉末与陶瓷颗粒或短纤维预混, 通过挤压或锻造等热加工制备复合材料的方法。这种方法虽然能够获取组织细小的复合材料, 但工艺过程长, 包括混料、冷压、装罐、真空脱气及热等静压、热挤压等高温固结过程, 生产成本低且受制于加工能力, 很难制得大尺寸材料。同时, 由于生产工序长、粉末易污染脏化、氧化, 导致粉末颗粒与增强相结合不好。另外, 混料过程也难于使增强相达到分布均匀。搅拌铸造法是将增强相颗粒或晶须加入金属熔体中, 通过强力搅拌,

将它们混入熔体中, 然后共同凝固形成复合材料的方法。该法处理物料量较大, 成本较低, 但材料组织不均匀, 且熔体粘度升高, 较精密的成形难度大; 熔体冷却速度慢, 合金材料组织粗大; 增强相与熔体界面反应严重, 导致性能劣化, 这在 SiC 颗粒增强 Al 合金系统中尤其突出, 因而极大地限制了其适用范围。压力渗透法是采用压力将金属熔体压入由增强纤维或颗粒制成的预成形坯中, 以形成复合材料坯及部件。压力渗透法成本高、工艺复杂, 增强相体积分数难于控制, 难于制造大尺寸部件。

近年来, 采用喷射共沉积方法制备高性能金属基复合材料受到广泛的关注, 并获得了迅速的发展^[1]。该方法通过在金属熔体雾化喷射流中引入增强相并共同沉积在表面, 获得增强相分布均匀的复合材料坯。在技术上喷射共沉积制备复合材料具有极大的优越性, 雾化共沉积时雾化和送粉惰性气体和颗粒增强相能吸收大量的热量, 提高金属沉积物的冷却速度, 使沉积物获得快速凝固的组织特征。

特别应该指出的是, 喷射共沉积能使颗粒增强相弥散均匀分布, 并有效地避免增强相与基体间的有害界面反应, 是很有发展前途的快

① 国家教委博士点基金项目, 湖南省自然科学基金重点资助项目
陈振华, 男, 50 岁, 教授(博导), 博士

收稿日期: 1996-06-18; 修回日期: 1996-08-15

速凝固金属基复合材料的制备技术, 目前这种方法正日益引起人们的广泛重视和深入研究^[3, 4]。

2 多层喷射共沉积法制备 6066 铝合金/SiC 颗粒复合材料

采用著者自己发明的多层喷射沉积装置^[5]制备 6066 铝合金+ 15% SiC 复合材料。6066 铝合金的化学成分为: Al+ 1.4% Si+ 1.1% Mg+ 1.0% Cu+ 0.8% Mn。SiC 颗粒为 α 型, 直径 5~ 10 μm 。喷射沉积时 SiC 的引入方式如图 1 所示。实验过程为: 在 1123~ 1213 K 将 6066 铝合金熔化, 采用 1~ 1.4 MPa 氮气通过喷嘴将金属液体雾化, 在金属液体雾化的同时, 将 SiC 通过 0.3~ 0.5 MPa 氮气直接送入金属熔体的雾化锥中, SiC 颗粒便被雾化气体分散并与金属液滴共同沉积在移动的内水冷基体上并冷凝成坯。本法与传统的喷射沉积有所不同, 后者在制取板、管坯时一般加热坩埚, 不移动雾化喷嘴, 使沉积坯一次经过而成; 多层喷射沉积采用移动的加热坩埚和雾化喷嘴, 沉积坯为多次叠合构成。沉积坯在 680 K 温度挤压成形, 挤压比为 14: 1。挤压坯进行 T6 状态热处理, 然后用 WD-10A 型电子材料试验机、日立-650 扫描电镜、光学显微镜等仪器进行组织观察和性能测试。

3 实验结果与讨论

3.1 颗粒增强相的均匀分布

一般来说, 喷射共沉积方法与搅拌铸造法、压力渗透法、粉末冶金法相比, 增强颗粒更为弥散均匀, 但在喷射共沉积中颗粒增强相进入雾化锥时, 如图 2(a) 所示, 由于受雾化喷嘴所喷出气体影响, 在喷射区周边颗粒增强相的浓度略高于中心区域。当采用如图 2(b) 所示的多层喷射共沉积工艺时, 由于雾化喷嘴与基体相对运动, 使得整个沉积坯中颗粒增强相的

分布更为均匀。图 3(a) 为 6066 铝合金+ 15% SiC 沉积坯的中心, 图 3(b) 样品位于沉积坯的边沿。照片所示结果表明, 多层喷射共沉积坯中 SiC 颗粒在基体上分布非常均匀。

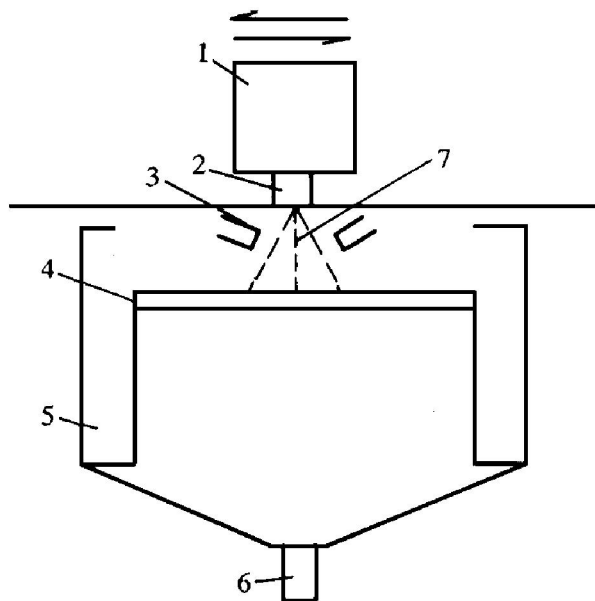


图 1 多层喷射共沉积装置示意图

1—加热坩埚; 2—喷嘴; 3—SiC 引入装置;

4—水冷移动小车; 5—雾化室;

6—出气口; 7—雾化锥

3.2 多层喷射共沉积坯的显微组织

采用多层喷射沉积, 所得沉积坯为多次叠合构成, 沉积坯的冷凝速度高于传统的喷射沉积^[5]。当进行金属液粒和颗粒增强相共沉积时, 沉积坯冷凝速度进一步提高, 最低可达 10^3 K/s , 因为纯合金多层喷射沉积冷凝速率即可达 10^3 K/s ^[5]。图 4 所示为多层喷射共沉积的 6066 铝合金+ 15% SiC 颗粒的沉积坯腐蚀金相, 其部分基体为“光学无特征区”。这种无特征区是由于坯料的冷凝速度非常大, 基体发生了“无分配凝固”。具有光学无特征区的基体具有良好加工性能和优异的力学性能。

3.3 颗粒增强相与基体的界面

喷射共沉积由于基体冷凝速度较高, 有效地避免了颗粒增强相与基体间的有害界面反应。图 5 为 6066Al/SiC_p 沉积坯的界面状态图, 可见 SiC 与基体界面洁净, 存在部分间隙, 界面主要为机械结合。

3.4 多层喷射沉积坯挤压后的力学性能

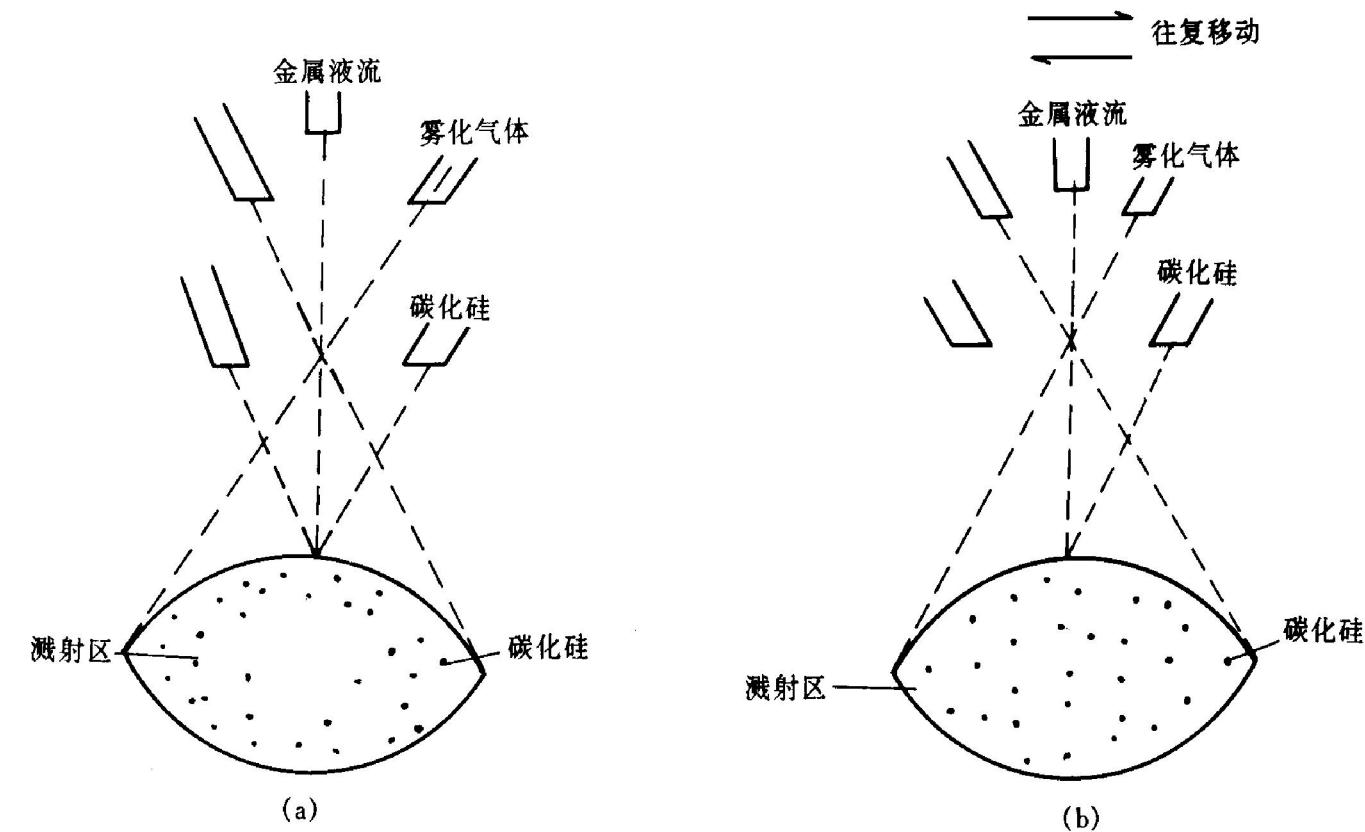


图 2 多层喷射共沉积与传统喷射共沉积的比较

(a) 一传统喷射共沉积;
(b) 一多层喷射共沉积

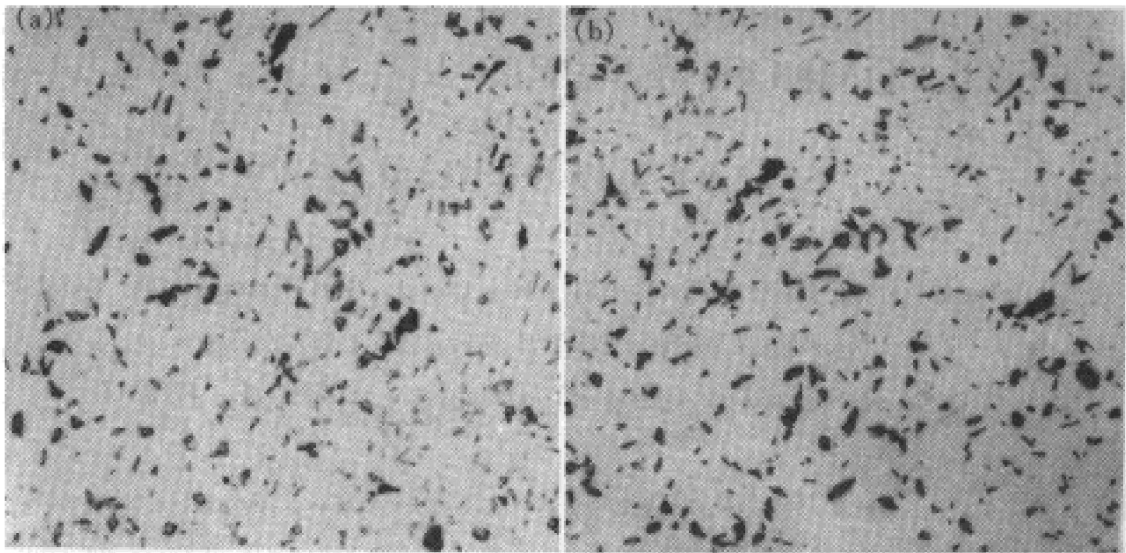


图 3 6066Al/15%SiC_p 合金多层喷射沉积坯金相照片, ×100

多层喷射沉积坯经挤压和 T6 处理后, 其力学性能如附表所示, 可见多层喷射沉积坯经挤压具有优异的力学性能。

附表 6066 铝合金+ 15% SiC 复合材料的力学性能

样品状态	σ_b /MPa	$\sigma_{0.2}$ /MPa	E /GPa	δ /%
挤压+ T6	640	580	133	9.4

4 结论

(1) 利用多层喷射共沉积制备的复合材料具有颗粒增强相分布均匀、增强相与基体界面洁净、基体冷凝速度高、材料力学性能优异等特点。

(2) 采用多层喷射共沉积制备的 15% SiC 颗粒增强 6066 复合材料, 沉积坯经挤压和 T6 热处理后, 材料力学性能为 $\sigma_b = 640 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2} = 510 \text{ MPa}$, $E = 133 \text{ GPa}$, $\delta = 9.4\%$ 。

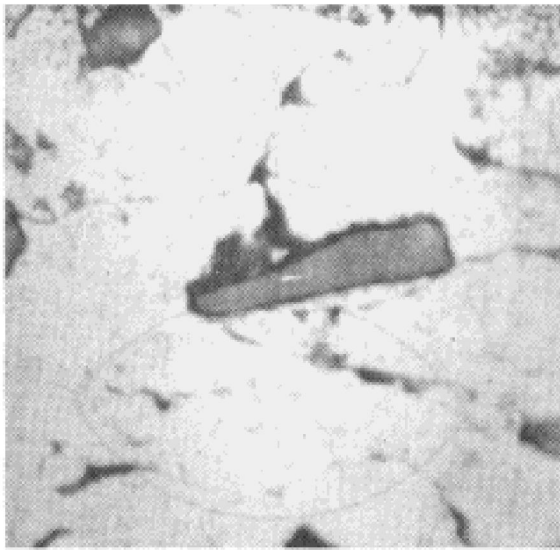


图 4 6066Al/SiC_p 沉积坯腐蚀显微组织, $\times 100$



图 5 6066Al/SiC_p 沉积坯的界面状态, $\times 100$

参考文献

- 1 Ibrahim A. J of Mater Sci, 1991, 26: 1137.
- 2 吴 越. 见: 94 秋季中国材料研讨会低维材料. 北京: 化学工业出版社, 1995: 325.
- 3 Gupta M *et al.* J Mater Sci, 1991, 26: 6673.
- 4 Gupta M *et al.* Metall Trans, 1992, 23B: 719.
- 5 陈振华等. 中国有色金属学报, 1995, 5(4): 66- 72.

6066Al/ SiC_p COMPOSITES PREPARED BY MULTI-LAYER SPRAY CO-DEPOSITION

Chen Zhenhua, Zhang Hao, Liu Qiulin, Chen Gang, Sun Zhangming, Yang Fuliang

Non-Equilibrium Material Research Institute,

Central South University of Technology, Changsha 410083

ABSTRACT 6066Al/ SiC_p composites were developed by multi-layer spray co-deposition technology. The deposition preforms with high cooling rate were prepared. In the deposition preforms, the distribution of the reinforcing particulates is homogeneous and the interface between the reinforcing phase and the matrix is clean. After extrusion and T6 heat treatment, the materials show mechanical properties as: $\sigma_b = 640 \text{ MPa}$, $\sigma_{0.2} = 510 \text{ MPa}$, $E = 133 \text{ GPa}$, $\delta = 9.4\%$.

Key words 6066 Al alloy SiC particulates spray co-deposition composites

(编辑 彭超群)