

熔铸- 原位反应喷射成形 金属基复合材料制备新技术^①

杨 滨 段先进 刘 勇 胡双春 张济山

(北京科技大学新金属材料国家重点实验室, 北京 100083)

摘 要 研究开发了一种喷射成形金属基复合材料制备新技术——熔铸- 原位反应喷射成形技术。该技术的突出优点是: 解决了颗粒损失和颗粒在合金基体中分布不均匀的问题; 合金的熔炼、颗粒的生成以及喷射成形金属基复合材料的制备同步进行, 明显缩短了复合材料的制备工艺流程, 降低了材料的制备成本。利用该技术制备了 3% TiC/ Al 复合材料。研究表明, TiC 颗粒在铝基体中分布均匀, 制备的 3% TiC/ Al 复合材料组织致密。

关键词 喷射成形 金属基复合材料 原位反应

中图法分类号 TG450

喷射成形技术是一种新近发展起来的先进材料制备技术。利用该技术制备颗粒增强金属基复合材料是其近年来发展的一个重要方向^[1-3]。但现行的喷射成形颗粒增强金属基复合材料制备技术大多是在喷射沉积过程中将一定量的增强相颗粒喷入雾化锥中, 与金属熔滴强制混合后在沉积器上沉积以获得复合材料坯件^[4-6]。这种方法的不足之处主要体现在: 增强颗粒利用率低(许多颗粒未能进入沉积坯), 颗粒表面易污染, 颗粒与基体界面结合的强度不够高。最近, 我们利用铝熔体中原位反应生成增强相技术同时结合喷射成形技术成功地制备了 TiC 颗粒增强的铝基复合材料。这种熔铸- 原位反应喷射成形技术的突出优点是: (1) 颗粒在熔体内部原位反应生成, 不存在颗粒损失问题; (2) 生成的颗粒大小为微米数量级, 数量可调, 颗粒在基体合金中分布均匀; (3) 可沿用现行喷射成形制备金属材料的各项工艺参数, 设备无需作任何改动; (4) 合金的熔炼、颗粒的生成以及喷射成形金属基复合材料的制

备过程同步进行, 因而可明显缩短复合材料的制备工艺流程, 降低复合材料的制备成本。本文报道利用该技术制备 TiC 颗粒增强工业纯铝的初步研究结果。

1 熔铸- 原位反应喷射沉积成形金属基复合材料制备技术的可行性分析

在铝熔体中引入大量 TiC 颗粒后, 势必会增加铝熔体的粘度。Lloyd^[7]推出了复合材料粘度与基体粘度和颗粒体积分数之间的关系式:

$$\eta_c = \eta_m (1 + 2.5 \varphi_p + 10.25 \varphi_p^2) \quad (1)$$

式中 η_c 为复合材料的动力粘度, η_m 为基体的动力粘度, φ_p 为颗粒的体积分数(%)。由式(1)知, 在熔体中加入 10% 的颗粒便会使复合材料熔体的粘度增加约 35%。而粘度增加势必会造成液体流动速度 v 下降^[8], 即

① 国家自然科学基金资助项目 59774032 收稿日期: 1999- 01- 15

杨 滨, 男, 38 岁, 副教授, 博士后

$$v = - \frac{\nu \varphi_L}{\eta} \nabla(p + \rho_L g) \quad (2)$$

式中 v 为液体的流动速度, ν 为与枝晶结构和枝晶间距有关的常数, φ_L 为液体的体积分数(%), p 为压力, ρ_L 为液体密度, g 为重力加速度。显然, 液体流动速度的下降不利于喷射沉积成形金属基复合材料制备过程的进行, 严重时甚至会导致导液管的堵塞。而且, 液体流动速度的下降还会影响复合材料枝晶间的补缩, 导致材料显微缩孔数量的增加。但作者认为这种情况在外加颗粒增强的铝基复合材料中更易发生。因为外加颗粒通常尺寸较大, 聚集在枝晶间的颗粒会造成熔融铝局部粘度的增加(参见式(2)), 不利于喷射成形金属基复合材料制备过程的进行和复合材料枝晶间的补缩。而利用熔铸- 原位反应技术生成的 TiC 颗粒平均尺寸小于 $1 \mu\text{m}$ (参见下面的实验结果)。当颗粒含量不太大(如小于 5%) 时, 熔体粘度增加幅度不大, 对喷射成形复合材料的制备过程影响应该不大。而且, 细小的 TiC 颗粒很容易在枝晶间自由通过, 对枝晶间的补缩影响也应该不大。另一方面, 从颗粒增强基体基本原理出发并结合已有的实验研究结果可知, 较小的颗粒在较低的体积分数条件下即可达到较大颗粒在较大的体积分数条件下的强化效果。所以适当降低增强相的含量仍可达到所需的增强效果。由此可见, 利用熔铸- 原位反应喷射成形技术制备金属基复合材料切实可行。

2 实验方法

利用熔铸- 原位反应技术制备 3% (体积分数, 下同) TiC 颗粒增强工业纯铝复合材料。制备复合材料的细节参见文献[9]。复合材料沉积板坯的制备工艺参数如下: 雾化气体为高纯氮气, 雾化压力为 0.5~ 0.6 MPa, 铝的过热度为 150~ 200 °C, 沉积距离为 350~ 450 mm。

利用 Zeiss 光学显微镜和 XL-30FEG 扫描电镜观察复合材料的显微组织, 用 RIGAKU D/max-r/A 型 X 射线衍射仪对材料

的相组成进行分析, 利用 Philips EM420 透射电镜确定 TiC 颗粒的结构并观察 TiC 颗粒与基体之间的结合情况。

3 实验结果与讨论

图 1 给出的是 TiC/Al 复合材料的 X 射线衍射谱。从图 1 中可以看出, 相组成中只有 TiC 和 Al, 表明反应是按 $\text{Ti} + \text{C} \rightarrow \text{TiC}$ 进行的。深入的研究表明: 在铝熔体中原位反应生成 TiC 颗粒时, 扩散机制和溶解- 析出机制同时存在。生成 TiC 颗粒的过程中, 在较低的温度时整个反应由扩散机制控制, 在高温时由溶解- 析出机制控制。图 2 示出的是重力浇注 3% TiC 复合材料的微观组织。可以看出, TiC 颗粒在基体中分布不太均匀, 存在偏聚现象。这是由于预制块在铝熔体中反应生成 TiC 后未完全溃散, 存在团聚现象所致。图 3(a) 表示利用熔铸- 原位反应技术获取的 TiC 颗粒以近球形为主, 尺寸大多在 0.5~ 1.0 μm 之间。生成的 TiC 颗粒表面干净, 无反应层存在, 这预示着 TiC 颗粒能够很好地和铝基体结合。电子衍射分析(图 3(b)) 表明这些 TiC 颗粒为简单面心立方结构。

图 4 是喷射沉积成形后 3% TiC/Al 复合

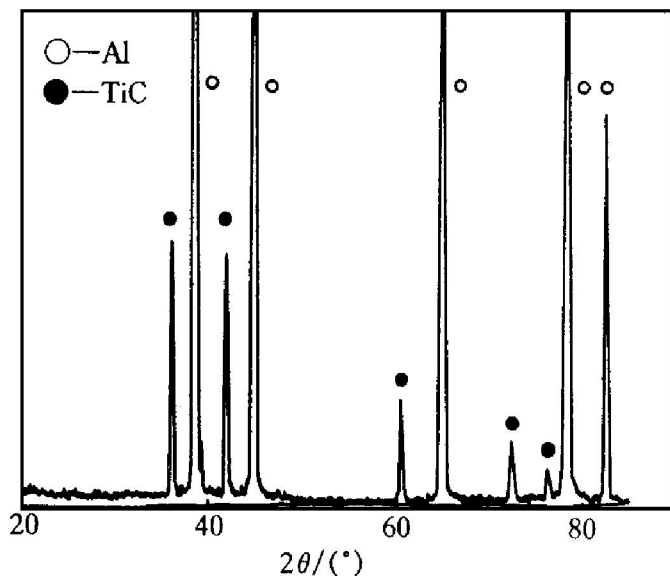


图 1 TiC/Al 复合材料的 X 射线衍射谱

Fig. 1 X-ray diffraction pattern of TiC/Al composite

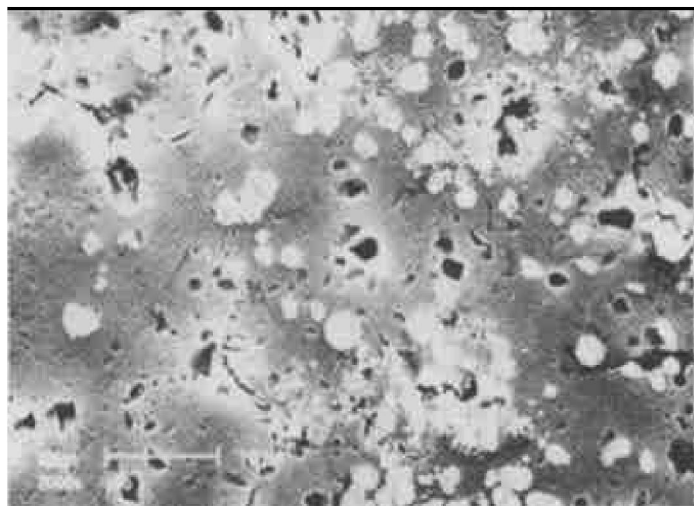


图2 重力浇注3% TiC/Al复合材料的微观组织

Fig. 2 Microstructure of 3% TiC/Al composite under traditional casting processing

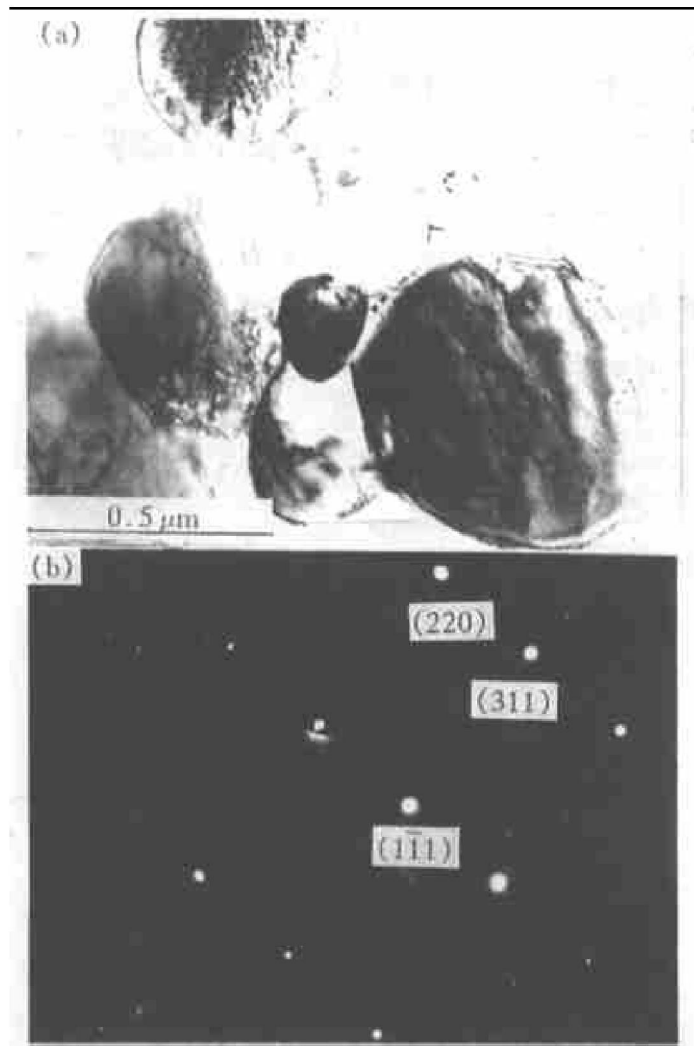


图3 3% TiC/Al复合材料的TEM像

Fig. 3 TEM micrographs of 3% TiC/Al composite

(a) —Bright field of TiC particulate;
(b) —Diffraction pattern of TiC particulate

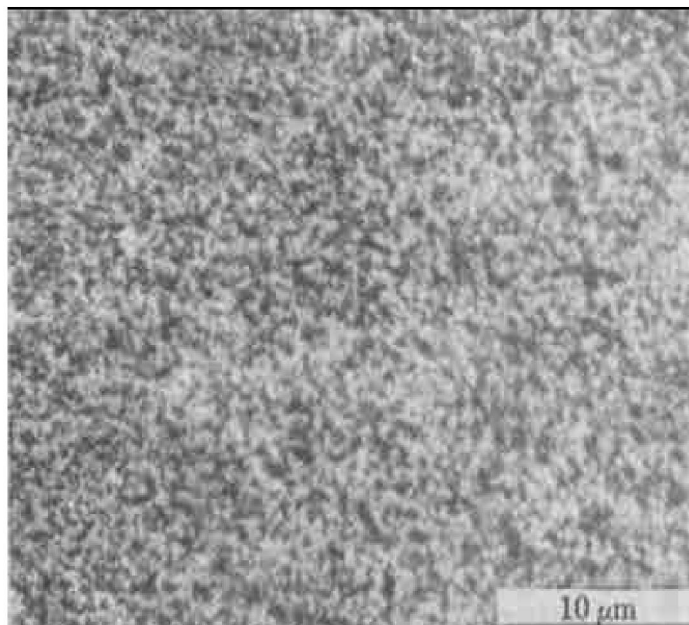


图4 熔铸-原位反应喷射成形3% TiC/Al复合材料的微观组织

Fig. 4 Microstructure of 3% TiC/Al composite fabricated by melt in situ reaction spray forming

材料的微观组织。从图中可以看出, TiC 颗粒均匀地分布在基体之中。由于晶粒尺寸十分细小, 试样经 0.5% HF 水溶液腐蚀后未显晶界。出现该组织特征的原因是 TiC 颗粒的非均质形核作用^[9], 以及雾化冷却速度增加导致的复合材料坯件晶粒度减小。而且, 图 4 中显示, 3%TiC/Al 复合材料组织致密, 显微缩孔很少。表明 3% 细小的 TiC 颗粒对枝晶间的补缩影响确实不大。这一实验结果验证了前述的理论分析。该复合材料的力学性能将另文报道。

4 结论

利用熔铸-原位反应喷射成形技术制备了 3%TiC/Al 复合材料。在铝熔体中原位生成的 TiC 颗粒以近球形为主, 尺寸大多在 0.5~1.0 μm 之间。TiC 颗粒在铝基体中分布均匀, 制备的 3% TiC/Al 复合材料组织致密。

REFERENCES

- 1 Gupta M, Mohamed F A and Lavernia E J. Mater

- Manufact Process, 1990, 5: 165.
- 2 Srivatsan T S and Lavernia E J. J Mater Sci, 1992, 27: 5965.
- 3 Mathur P, Apelian D and Lawley A. Acta Metall Mater, 1989, 37: 429.
- 4 Wu Y and Lavernia E J. Metall Trans, 1992, 23A: 2923.
- 5 Gupta M, Mohamed F and Lavernia E J. Metall Trans, 1992, 23A: 831.
- 6 Lavernia E J, Gutierrez E and Baram J. Mater Sci Eng, 1991, 132A: 119.
- 7 Lloyd D J. Com Sci Tech, 1989, 35: 159.
- 8 Flemings M C. Solidification Processing. McGraw-Hill, New York, 1974.
- 9 Cisse J, Bolling G F and Keer H W. J Crystal Growth, 1972, 13/ 14: 777.

A NEW TECHNIQUE OF MELT IN-SITU REACTION SPRAY FORMING METAL MATRIX COMPOSITES

Yang Bin, Duan Xianjing, Liu Yong, Hu Shuangchun and Zhang Jishan
*The State Key Laboratory for Advanced Metals and Materials,
University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, P. R. China*

ABSTRACT A new technique for manufacturing metal matrix composites by melt in-situ reaction spray forming processing was introduced. The outstanding advantage of the technique is that the melting of alloys, the formation of the reinforcing particulates and the preparation of metal matrix composites take place in one step, which indicates that this will be a simple and cost effective technique for the manufacture of metal matrix composites. A 3% TiC/ Al composite with TiC particulates homogeneously distributed in the aluminum matrix was produced by this technique.

Key words spray forming metal matrix composites in-situ reaction

(编辑 袁赛前)