

[文章编号] 1004- 0609(2000)06- 0843- 04

激光熔覆原位合成 TiC_p/Al 复合材料^①

马乃恒, 方小汉, 梁工英, 苏俊义
(西安交通大学 机械工程学院, 西安 710049)

[摘要] 利用激光熔覆技术, 在 ZL104 合金表面原位合成了 TiC_p/Al 复合材料层。实验结果表明, 经 20 h 混制的 AlTiC 粉末, 在激光熔覆过程中可以充分反应合成 TiC_p; 在所形成的 TiC_p/Al 复合材料层中, TiC 颗粒尺寸细小, 约 800nm; 经激光熔覆后的 TiC_p/Al 复合材料层中 TiC 分布均匀, 仅表层有约 20 μ m 的 TiC 颗粒富集区和邻近基底部分有 20 μ m 的稀释区。

[关键词] 激光熔覆; 原位合成; 碳化钛; 复合材料

[中图分类号] TB331

[文献标识码] A

铝合金材料通过激光熔覆一层陶瓷颗粒增强的复合材料层是改善铝合金表面性能的有效途径之一。通过外加陶瓷颗粒形成复合材料熔覆层已有许多报导^[1~3], 然而由于外加陶瓷颗粒尺寸较大, 同时存在界面污染及界面反应等问题, 直接影响了熔覆层的冶金质量。

AlTiC 体系原位合成整体复合材料的研究已获得很大的成就^[4~7], 近年来, 利用激光在材料表面原位合成复合材料已有研究^[8~10]。然而在铝合金中, 通过激光熔覆的方法在表层原位合成 TiC_p/Al 复合材料的研究尚未见有报导。

本研究工作利用激光熔覆原位合成反应的方法, 在激光束的作用下, 促使铝合金表面的 AlTiC 粉末涂层发生原位合成反应, 形成 TiC_p/Al 复合材料层, 并与铝合金基底充分熔合, 在快速凝固的条件下形成致密的细晶组织。由于 TiC 颗粒是在基体 (Al) 中原位反应生成, 颗粒细小, 均匀, 亦不存在界面污染等问题。

1 实验方法

试样基底材料为 ZL104 合金。基底试样被加工成尺寸为 200 mm × 40 mm × 10 mm 的矩形板条。试样经表面喷砂、碱洗、酸洗和丙酮清洗后, 涂刷厚度为 0.5 mm 的 AlTiC 粉末涂层。

涂层材料选用粒径 < 74 μ m 的钛粉、铝粉和活性炭粉, 经搅拌式球磨机在 Ar 保护气氛下混制不同时间后, 由乙基纤维素和适量的丙酮稀释后, 涂

刷在试样表面。

为了保证反应的充分完成, 熔覆层中不存在残留的碳粉, Ti 和 C 的摩尔比按 1.05:1 设计, 涂层粉料成分比如表 1 所示。

表 1 AlTiC 涂层粉末成分比

Table 1 Chemical compositions of AlTiC powder

Elements	Al	Ti	C
<i>x / %</i>	62.89	18.98	18.13

激光熔覆试验是在 5 kW CO₂ 横流式连续激光器上进行。试验时, 激光功率密度为 4.07 × 10⁴ W/cm², 激光束光斑直径为 2.5 mm, 扫描速度为 10 mm/s, 试样表面被 Ar 气保护。

激光熔覆后的试样在与扫描方向垂直的面上磨制金相试样, 经腐蚀后在 NEOPHT21 光学显微镜 (OM) 和 S2700 扫描电子显微镜 (SEM) 下观察 TiC 的形貌和分布; 使用 SEM 所附的能谱仪进行成分分析; 沿激光扫描方向, 从试样表面切取 0.3 mm 的薄片, 经机械减薄至 0.1 mm 后, 由电解双喷法制取透射电镜 (TEM) 试样, 在 JEM-200CX 透射电子显微镜上进行结构分析, 以确认颗粒结构; 使用 X 射线衍射仪 (CuK α) 在熔覆面进行整体相结构分析。

2 实验结果及分析

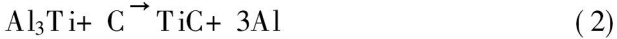
2.1 微观结构

① [基金项目] 国家自然科学基金资助项目 (59871038) 和西北工业大学凝固技术国家重点实验室开放基金资助项目
[收稿日期] 1999- 12- 03; [修订日期] 2000- 04- 10 [作者简介] 马乃恒 (1958-), 男, 博士生。

图1所示为经不同混制时间的粉末涂层经激光熔覆处理后熔覆层的X射线衍射相结构分析结果。从图中可以看出,经4h混制的粉末在激光熔覆处理后,熔覆层中除原位生成TiC以外,还有少量的Al₃Ti相(合成反应的过渡产物)(图1(a));经20h混制的粉末,原位合成TiC反应已充分完成,未发现有Al₃Ti相存在(图1(b))。

图2(a)为经20h混制的AlTiC粉末激光熔覆层的TEM明场像,图2(b)为(a)的电子衍射图,经衍射花样标定,该生成颗粒为TiC。

在激光作用下,AlTiC混合粉末反应合成的充分程度与粉末混制的均匀程度和颗粒间接触的充分性有关。在AlTiC体系中,Al₃Ti作为反应形成TiC的中间产物,有以下反应发生^[6]:



在扩散型控制的反应过程中,如果在有效的扩散距离内,不能供给Al₃Ti足够的碳量,那么反应式(2)就不能充分完成。随着球磨时间的增长,颗

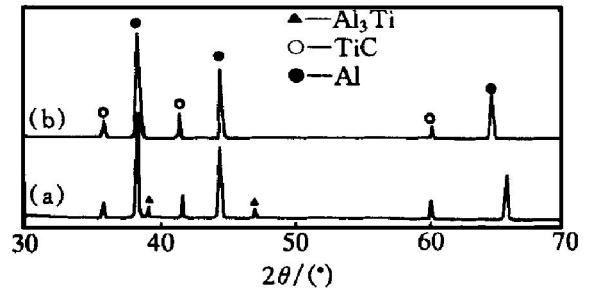


图1 AlTiC涂层经激光熔覆后的X射线衍射图

Fig. 1 X-ray diffraction patterns of clad layer

(a) —Powder milled for 4h; (b) —Powder milled for 20h

粒不断的细化和均匀化,从而增加了反应物之间的接触面积,减小了扩散距离,同时由于球磨过程中金属颗粒的变形和断裂作用^[11],使被研磨的晶体缺陷大幅度增加,提高了元素的反应活性,促进了反应的充分完成。图3为经20h球磨以后的AlTiC粉末复合团粒的形貌、尺寸及成分分布。可以看出,球磨后复合团粒(经球磨细化的若干颗粒所团

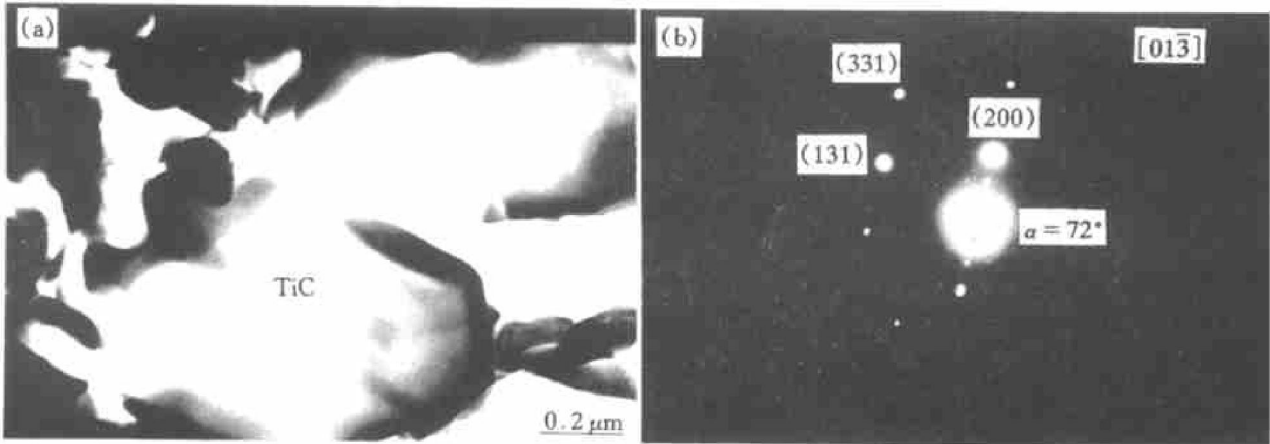


图2 熔覆层颗粒的TiC颗粒明场像(a)和电子衍射图(b)

Fig. 2 Bright field photo (a) and electronic diffraction pattern (b) of TiC_p in clad layer

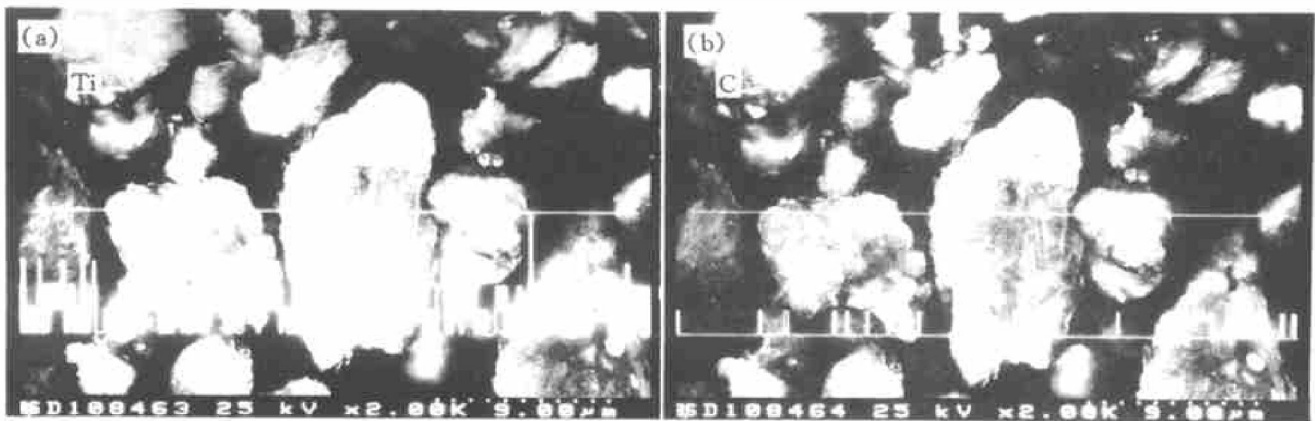


图3 20h球磨粉末团粒中元素分布

Fig. 3 Distributions of Ti and C in powder agglomerate after milled for 20h

(a) —Distribution of Ti; (b) —Distribution of C

聚成的复合体) 尺寸约为 20 μm, 并且元素 Ti 和 C 在团粒中的分布已相当均匀。

2.2 熔覆层的 TiC 分布情况

图 4 所示为球磨 20 h 后的粉末经激光熔覆后, 熔覆层中部的 SEM 照片。图中白色类球状颗粒为 TiC, 其平均尺寸约为 800 nm。图 5 所示为该区的的光镜照片。可以看出, 原位生成的 TiC 颗粒尺寸细小及分布均匀。

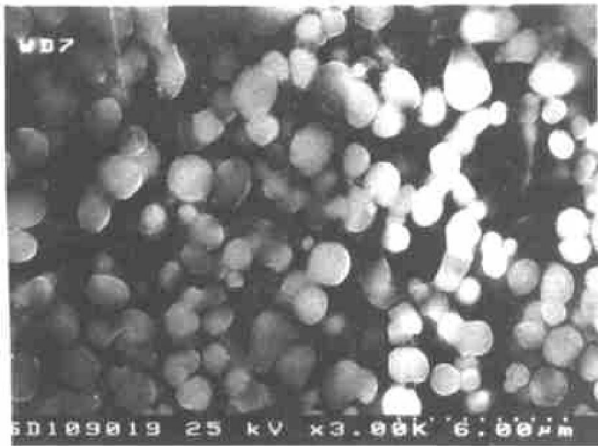


图 4 20 h 球磨后的粉末经熔覆后原位生成的 TiC 形貌

Fig. 4 Morphology of TiC particles (milled for 20 h) in clad layer

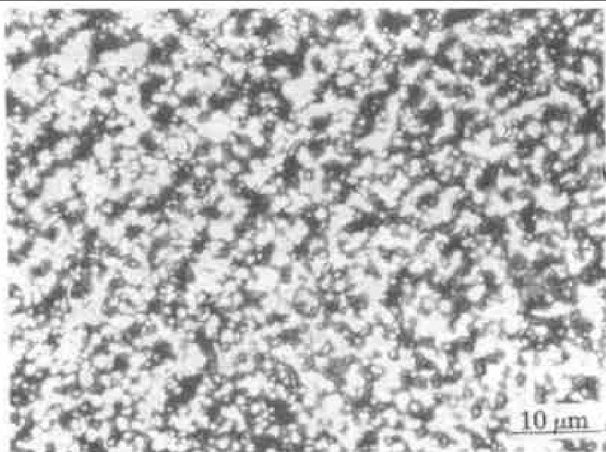


图 5 20 h 球磨后的粉末经激光熔覆后的金相照片

Fig. 5 Optical micrograph of clad layer using powder milled for 20 h

为了进一步分析原位合成 TiC 在熔覆层中的分布情况, 对 20 h 球磨粉末的激光熔覆层进行层减 X 射线衍射分析, 并计算 TiC 第一强线与 Al+ TiC 的第一强线的比值, 将该比值定义为 TiC 的相对强度, 并由此判断 TiC 所占的体积分数。

图 6 所示为离熔覆层表面不同深度处的 TiC 的相对强度。可以看出, 在熔覆层中, 大部分区域

TiC 颗粒分布相当均匀, 仅在表层存在约 20 μm 厚的 TiC 富集区和在靠近基底部分存在约 20 μm 的稀释区。

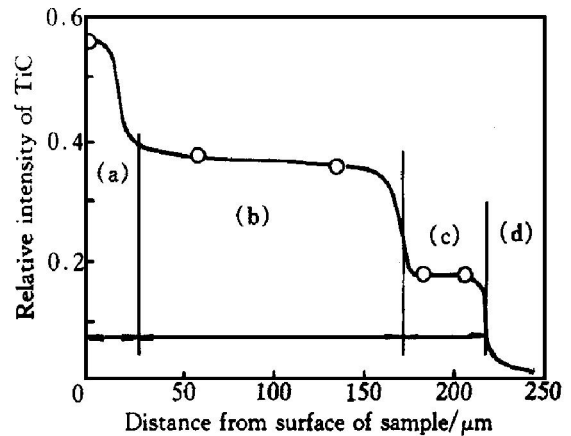


图 6 离熔覆层表面不同距离的 TiC 的 X 射线衍射相对强度

Fig. 6 Relative intensities of TiC with different distances to top surface of sample in X-ray diffraction

(a) —Rich zone; (b) —Uniform zone; (c) —Dilute zone; (d) —Substrate

3 结论

1) 采用激光熔覆原位合成的办法可以在铝合金表面获得一层 TiC_p/Al 复合材料, 其中 TiC 的尺寸细小(约 800 nm)、形状圆整。

2) Al+TiC 粉末的混制程度对激光熔覆原位合成反应的充分性有影响。在本试验中使用混制时间为 20 h 的粉末, 可以原位反应生成无 Al₃Ti 的 TiC_p/Al 复合材料层。

3) 经激光熔覆后的 TiC_p/Al 基复合材料表面层 TiC 分布均匀, 仅在表层和邻近基底部分有约 20 μm 的 TiC 颗粒富集区及稀释区。

[REFERENCES]

[1] Pei Y T and Zuo T C. Gradient microstructure in laser clad TiC-reinforced Ni alloy composite coating [J]. Materials Science and Engineering, 1998, A241(1- 2): 259- 263.

[2] LI Qiang(李 强), LEI Ting-quan(雷廷权), WANG Fur-chi(王富耻), et al. 激光熔覆 TiC 颗粒增强 Ni-Cr-B-Si-C 合金复合涂层的微观组织 [J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals(中国有色金属学报), 1998, 8(3): 420- 426.

- [3] Liang G Y and Wong T T. Investigation of microstructure of Ni₃WC layer on an Al₃Si alloy [J]. ASM Journal of Materials Engineering and Performance, 1997, 6(1): 41– 45.
- [4] Nukami T. The growth of TiC particles in an Al matrix [J]. Journal of materials Science Letter, 1998, 17(4): 267– 269.
- [5] YANG Bin(杨 滨), WANG Yu-qing(王玉庆) and ZHANG Jian(张 键). 铝熔体中原位反应生成TiC颗粒的机制分析 [J]. Rare Metal Materials and Engineering(稀有金属材料工程), 1997, 26(6): 12– 17.
- [6] Tessuya N and Flemings M C. In-situ synthesis of TiC particulate reinforced aluminum matrix composites [J]. Metallurgical and materials Transaction A, 1995, 26(7): 1877– 1884.
- [7] Birol Y. In-situ processing of TiC_p-Al composites by reacting graphite with AlTi melts [J]. Journal of Materials Science, 1999, 34(7): 1653– 1657.
- [8] Hu C and Baker T N. Laser pressing to create in-situ Al₃SiC surface metal matrix composites [J]. Journal of Materials Science, 1995, 30(4): 891– 897.
- [9] MENGg Yan and HU Harqi. In-situ laser surface coating of TiC metal matrix composite layer [J]. Journal of Materials Science, 1996, 31: 4303– 4309.
- [10] WU Xiao-lei(武晓雷) and CHEN Guang-nan(陈光南). 激光形成原位TiC颗粒增强涂层的组织及性能 [J]. Acta Metallurgica Sinica(金属学报), 1998, 34(12): 1284– 1288.
- [11] YAN Hong-ge(严红革), CHEN Zhen-hua(陈振华) and HUANG Pei-yun(黄培云). 反应合成原位复合材料制备技术进展 [J]. Materials Science and Engineering(材料科学与工程), 1997, 15(1): 6– 9.

In-situ synthesis of TiC_p/Al composite by using laser cladding

MA Nai-heng, FANG Xiao-han, LIANG Gong-ying, SU Jun-yi
(School of Mechanical Engineering, Xi'an Jiaotong University,
Xi'an 710049, P. R. China)

[Abstract] By using laser cladding, TiC_p/Al composite has been in-situ synthesized on the ZL104 alloy surface. During laser cladding, AlTiC powder which have been milled for 20 h, could be synthesized completely as fine TiC particles which is about 800 nm in size. Except that there is a rich zone of TiC about 20 μm thick at the top and a dilute zone of TiC_p about 20 μm thick near substrate, the distribution of TiC particles is uniform in the cladding layer.

[Key words] laser cladding; in-situ synthesis; TiC; composite

(编辑 何学锋)