

# XD<sup>TM</sup>法制备 TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料

王 香<sup>1</sup> 李庆芬<sup>1</sup> 马旭梁<sup>2</sup> 曾松岩<sup>2</sup>

(1 哈尔滨工程大学机电工程学院, 哈尔滨 150001)

(2 哈尔滨工业大学材料科学与工程学院, 哈尔滨 150001)

**文 摘** 采用 XD<sup>TM</sup>法制备 TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料。组织观察表明:TiC<sub>p</sub> 原位自生,在基体中均匀分布,没有颗粒的偏聚和宏观、微观偏析存在;自生的 TiC<sub>p</sub> 多呈近球形,其表面光滑圆整,没有棱角和尖角;与基体合金的界面结合较为紧密,无反应产物存在。拉伸试验表明:复合材料具有较高的抗拉强度和屈服强度。

**关键词** XD<sup>TM</sup>法, TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料, TiC<sub>p</sub>

## TiC<sub>p</sub>/ZA-12 Composites Prepared by XD<sup>TM</sup> Process

Wang Xiang<sup>1</sup> Li Qingfen<sup>1</sup> Ma Xuliang<sup>2</sup> Zeng Songyan<sup>2</sup>

(1 College of Mechanical and Electrical Engineering, Harbin Engineering University, Harbin 150001)

(2 School of Material Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

**Abstract** TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites are prepared by XD<sup>TM</sup> process. The observed results indicate that TiC particles are formed in-situ and distributed uniformly in matrix. No particles aggregation and macro or micro precipitation are observed. Most TiC particles formed in-situ are almost spherical and present smooth surface. TEM results demonstrate that the interface between TiC particle and matrix is in close bond and no reaction products exist. Tensile tests indicate that the composites exhibit high tensile and yield strengths.

**Key words** XD<sup>TM</sup> method, TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites, TiC particle

新型锌铝系列合金以其优越的铸造性能、力学性能和耐磨性能得到了比较广泛的应用,但由于其高温性能差、线膨胀系数大和高温尺寸稳定性差等缺点,使得它的应用受到限制<sup>[1,2]</sup>。为了改善锌铝合金的高温性能,满足苛刻条件下的应用并扩大使用范围,提高使用寿命,自 1986 年以来,国际铝锌组织、美国、法国生产商以及我国的合肥工业大学、西南交通大学等进行了锌铝基复合材料的研究,并已取得了可喜的进展<sup>[3,4]</sup>。与基体锌合金相比,锌铝基复合材料具有以下优点:硬度和刚度较高,耐磨性能优良,耐高温性能好,线膨胀系数小,尺寸稳定性增强等;另外由于锌铝基复合材料使用价格低廉的短

纤维、颗粒作为增强相,因此制备成本相对较低。锌铝基复合材料将在以下几个方面得到广泛的应用:

- (1)使用温度较高的轴承、轴瓦等耐磨件;
- (2)使用温度较高或要求寿命较长的模具;
- (3)代替锌合金或其它合金制品,进一步提高工件的使用寿命。

由于锌铝基复合材料研究工作起步较晚,目前仅局限于实验室范围,对其制备工艺、性能和组织等仍缺乏系统的研究。深入分析颗粒增强锌铝基复合材料的微观结构,对确定有效的复合材料制备工艺,优化材料的性能都是十分重要的。而复合材料的物相组成、相的形态、大小及分布,各种相的微观结构

收稿日期:2002-10-21;修回日期:2002-12-17

王香,1972 年出生,博士后,主要从事金属基复合材料的研究工作

和各相之间的界面结构特征等是研究复合材料组织结构特点的重要内容<sup>[5,6]</sup>。

本文通过 XRD、SEM 和 TEM 对复合材料的微观组织进行观察,研究复合材料的组织特点、界面结构和自生  $TiC_p$  的形貌。

### 1 实验方法

将 Al、Ti、C 三种粉末按一定比例混合,装入滚筒混粉机干混 24 h,然后在 150 MPa 的压力下将混合均匀的粉末冷压成  $\Phi 40\text{ mm} \times 15\text{ mm}$  的预制块,装入模具;将模具及热电偶整体置于真空度为  $1.0 \times 10^{-4}\text{ MPa}$  的真空自蔓延加工(XD<sup>TM</sup>法)装置中加热制成 Al/TiC 预制合金;将其在 ZA-12 合金液中重熔制得  $TiC_p$ /ZA-12 复合材料。

实验中采用自行配制的 ZA-12 合金,其化学成分如表 1 所示,该合金用高纯 Al [ $\geq 99.99\%$  (质量分数)]、纯 Zn、纯 Mg 和 Al-50% (质量分数) Cu 中间合金精练而成。

表 1 ZA-12 合金的主要成分

Tab.1 Main composition of ZA-12 alloy

元素	含量/% (质量分数)
Al	11 ~ 12
Cu	1.2 ~ 1.25
Mg	0.03 ~ 0.06
Zn	余量

## 2 实验结果

### 2.1 Al/TiC 预制合金的组织

图 1 为 Al 含量为 50% (质量分数) 时所制备的 Al/TiC 预制合金块的显微组织;其 XRD 分析结果见图 2。由图可见它的相组成为 Al 和 TiC。

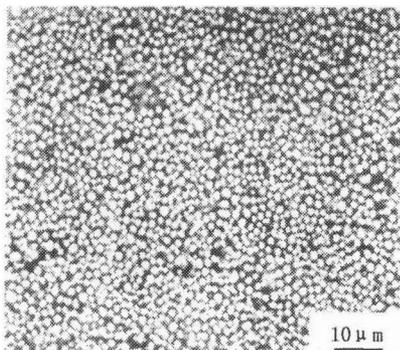


图 1 50% Al/TiC 预制合金块的显微组织

Fig.1 Microstructure of 50% Al/TiC preformed alloy

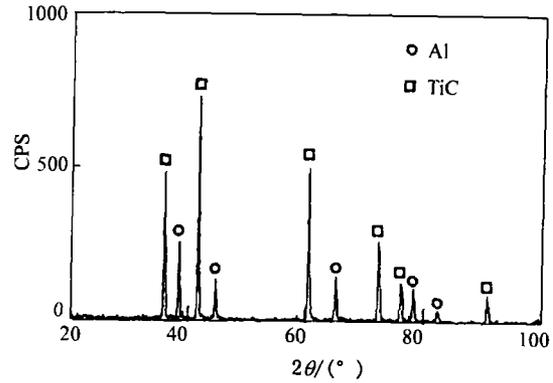


图 2 50% Al/TiC 预制合金块的 XRD 分析结果

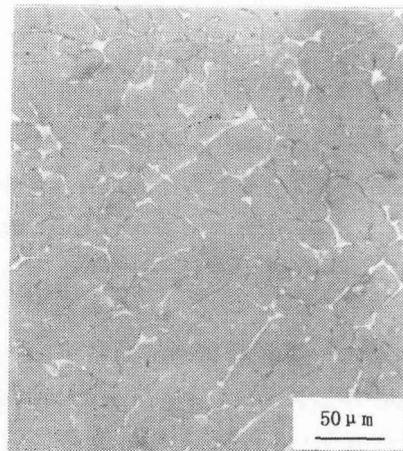
Fig.2 XRD analysis of 50% Al/TiC preformed alloy

### 2.2 $TiC_p$ /ZA-12 复合材料的宏观组织

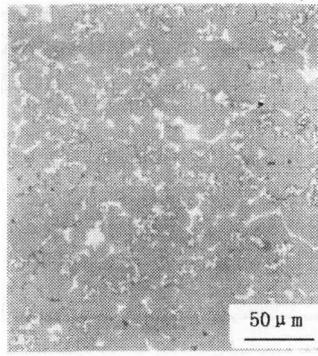
图 3 是基体 ZA-12 合金和  $TiC_p$  体积分数不同时复合材料的铸态组织。

图 3(a) 基体 ZA-12 合金的铸态组织是初生晶又为枝状组织,共晶相呈网状分布在枝晶间。由图 3(b) ~ (d) 可以看出,与基体组织相比,复合材料的组织明显细化,当  $TiC_p$  含量较低(5%) 时,  $TiC_p$  主要分布在枝晶间;随着  $TiC_p$  含量的增加,  $TiC_p$  除了分布在枝晶间外,分布在初生  $\alpha$  相内的  $TiC_p$  也逐渐增加;当  $TiC_p$  含量达到 15% 时,  $TiC_p$  已均匀地分布在整个基体合金之中。

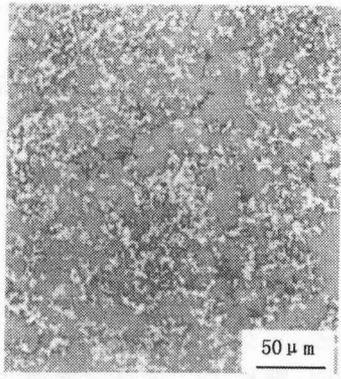
当  $TiC_p$  含量较高 ( $> 10\%$ ) 时,在铸态组织中发现有细小的缩孔存在,这主要是因为  $TiC_p$  含量增大,材料的流动性降低,在凝固过程中补缩困难而形成的微观缩孔。



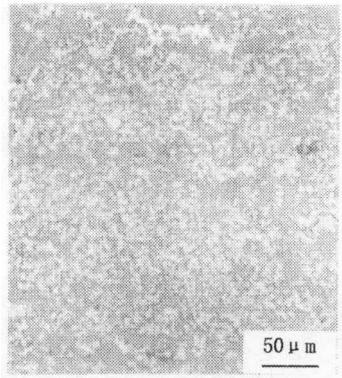
(a) ZA-12 合金



(b) 5%TiC<sub>p</sub>/ZA—12



(c) 10%TiC<sub>p</sub>/ZA—12



(d) 15%TiC<sub>p</sub>/ZA—12

图3 基体 ZA—12 合金和 TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料铸态组织

Fig.3 Microstructure of matrix ZA-12 alloy and TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites

### 2.3 TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料的显微组织

图4是TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的SEM显微组织照片。观察表明:该材料的TiC<sub>p</sub>分布比较均匀,没有偏聚现象,且颗粒细小、均匀,近似为球形,同时基体也比较致密。

— 46 —

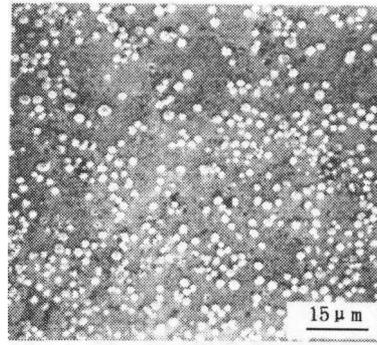


图4 TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的显微组织

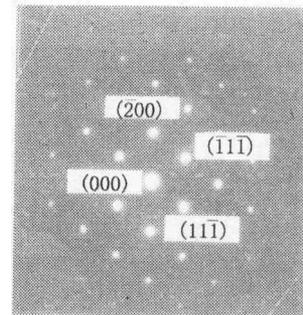
Fig.4 Microstructure of TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites

### 2.4 TiC<sub>p</sub>/ZA—12 复合材料的微观结构

图5是TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料在TEM下观察到的TiC<sub>p</sub>形貌。由图5(a)可以看出,生成的TiC颗粒细小圆整,平均尺寸为2 μm左右,近似于球形,这一点与常用的增强颗粒SiC截然不同,后者多存在明显的棱角和尖角,对基体有割裂作用。图5(b)是TiC<sub>p</sub>在[011]方向上的衍射花样及其标定。



(a) 形貌



(b) 衍射花样

图5 TiC<sub>p</sub>的形貌及其衍射花样

Fig.5 Morphology and the electron diffraction pattern of TiC<sub>p</sub> particle

宇航材料工艺 2003年 第2期

图6是通过TEM观察到的TiC<sub>p</sub>与α相的界面。由图可见,界面光滑干净,无反应产物生成,而且TiC<sub>p</sub>与α相的界面结合紧密无间隙存在。

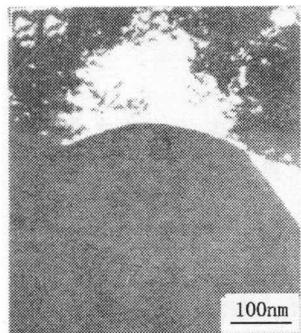


图6 TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料中TiC<sub>p</sub>与α相的界面

Fig.6 Interface of TiC<sub>p</sub> particle and α phase in TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites

## 2.5 TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的拉伸性能

图7为TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的拉伸性能。结果表明:当TiC<sub>p</sub>含量<10%时,复合材料的抗拉强度和屈服强度随TiC<sub>p</sub>含量的增加而增加;当TiC<sub>p</sub>含量为10%时,抗拉强度为390 MPa,屈服强度为340 MPa,与基体合金相比,分别提高了11%和17%;但当TiC<sub>p</sub>含量>10%时,强度值有所下降,但下降的幅度不大,这主要是因为TiC<sub>p</sub>含量增大,材料流动性降低,在凝固过程中补缩困难形成的微观缩孔造成。

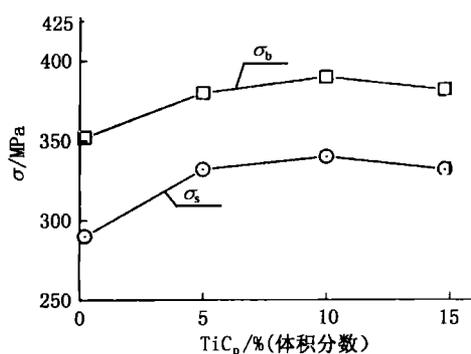


图7 TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的拉伸性能

Fig.7 Tensile property of TiC<sub>p</sub>/ZA-12 composites

复合材料强度的提高与TiC<sub>p</sub>的弥散分布和细化晶粒有关。另外, XD™制备的TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料中的TiC<sub>p</sub>在熔融Al液中直接反应生成, TiC与基体合金液的润湿性好, 所以凝固后与基体的界面结合力较强。同时, TiC与基体合金的界面上无其它金属间化合物生成, 因而界面干净, 能充分发挥TiC<sub>p</sub>的弥散强化效果。

## 3 结论

(1) TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料中, TiC<sub>p</sub>在基体中均匀分布, 没有颗粒的偏聚和宏观、微观偏析存在。当TiC<sub>p</sub>含量较低时主要分布在晶间, 随着其含量的增加开始进入晶内, 并在整个基体内弥散分布。同时TiC<sub>p</sub>对复合材料基体的晶粒具有明显的细化作用。

(2) 自生的TiC<sub>p</sub>多呈近球形, 其表面光滑圆整, 没有棱角和尖角; 与基体合金的界面结合较为紧密, 无反应产物存在。

(3) 当TiC<sub>p</sub>含量<10%时, TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料的抗拉强度与屈服强度随TiC<sub>p</sub>含量的增加而提高, 且比基体合金有较大的提高; 但当TiC<sub>p</sub>含量>10%时, 强度值有所下降, 但下降幅度不大, 可以在一定程度上满足提高工件使用寿命的要求。

## 参考文献

- 1 施忠良, 苏华钦. 锌铝合金研究现状. 材料科学与工程, 1992; 10(3): 37~41
- 2 Li Yuanyuan, Luo Junming et al. The microstructure and wear mechanism of a novel high-strength wear-resistant zinc alloy (ZMJ). Journal of Materials Processing Technology, 1995; 55(1): 154~161
- 3 朱和祥, 刘世楷. 锌基复合材料的研究现状及发展. 材料导报, 1994; 8(1): 62~65
- 4 Torizsaka Y, Kojima S. Superplasticity and internal friction of a superplastic Zn-22% Al eutectoid alloy. Acta. Metall. Mater., 1991; 39(5): 947~954
- 5 Chu M G, Premkumar M K. Mechanism of TiC formation in Al/TiC in situ metal-matrix composites. Metall. Trans., 1993; 24A(12): 2803~2805
- 6 王香, 李庆芬, 曾松岩. TiC<sub>p</sub>/ZA—12复合材料凝固时TiC<sub>p</sub>的行为. 宇航材料工艺, 2002; 32(4): 23~26

(编辑 李洪泉)