

铸造 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料界面^①

蔡 叶 黄伯云

(中南工业大学粉末冶金研究所, 粉末冶金国家重点实验室, 长沙 410083)

苏华钦

(东南大学机械工程系, 南京 210096)

摘 要 用 TEM 对铸态 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料界面进行了研究。结果表明, SiC 颗粒与 α -Mg 界面光滑, 无界面化学反应。Mg₁₇Al₁₂ 相及 Cu₅Zn₈ 相能在 SiC 颗粒表面形核长大, 且它们之间的位向关系为: $[\bar{1}101]_{\text{SiC}} \parallel [\bar{1}1\bar{1}]_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$, $(0111)_{\text{SiC}} \parallel (110)_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$ 和 $[100]_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel [\bar{2}\bar{1}\bar{1}0]_{\text{SiC}}$, $(001)_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel (0001)_{\text{SiC}}$ 。

关键词 铸造 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料 界面 相向关系

金属基复合材料是由金属基体和增强相所组成。它们之间的界面的物理和化学特性对复合材料的性能往往起到决定性的影响, 界面研究已成为金属复合材料研究的主要方向之一^[1-5]。Laurent 等人^[6]用透射电镜(SEM) 散能分光计(EDS) 分析 SiC_p/AZ91 复合材料的界面时发现, 界面处存在 Al、C 和 O 的谱线, 从而推测界面处有 Al-C-O 三元化合物相生成。最近 Luo A 和 Pekguleryuz M O^[7]用同样的方法研究了 SiC_p/Mg 和 SiC_p/AZ91 复合材料界面, 发现 SiC_p/Mg 复合材料界面无反应产物。而 SiC_p/AZ91 复合材料界面的 EDS 分析结果表明, 界面存在 Mg、Si、Al、C 和 O 元素。因此, 推测 SiC_p/AZ91 界面处存在三种可能的相组成: ① Mg₂Si + Al₄C₃ + MgO; ② MgO + Al₄C₃, 而 Si 峰是由 SiC 颗粒产生的; ③ Al-C-O 三元化的相, 其中 Mg 峰是由基体产生, Si 峰是由 SiC 颗粒产生。

从以上结果可以看出, SEM 和 EDS 分析对于确定 SiC 颗粒增强镁基复合材料界面的界面相结构、界面相之间的位向关系以及界面反应物等均有很大的困难。

本文着重用透射电镜对铸态 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料的界面微观结构进行研究。

1 实验材料及方法

SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料用搅熔铸造法制备, 即把预热的 SiC 颗粒加入高速剪切的半固态镁熔体中, 搅拌一定时间后升温吸铸成 d 10 mm 的棒。基体 AZ81 合金的化学成分如表 1。SiC 颗粒为 6H 型, 体积分数 15%, 平均粒径 10 μm 。复合材料用线切割截取 d 10 mm $\times$ 1 mm 的试样, 机械磨光至 60 μm , 然后进行双孔离子减薄, 减薄电压 5 kV、电流 0.4 mA、倾角 20°和 10°。界面观察在 JEOL JEM-2000EX 透射电镜上进行, 其加速电压为 160 kV。

表 1 AZ81 合金化学成分(%)

Al	Zn	Mn	Cu	Si	Ni	Fe	Mg
7.0~8.1	0.4~1.0	0.13	0.10	0.30	0.01	< 0.01	balance

2 实验结果及讨论

2.1 铸态 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料显微组织

图 1 是 SiC_p/AZ81 复合材料的凝固组织。由图中可以看出, SiC 颗粒大部分富集在晶界处。这是因为在凝固过程中, 初生镁(α 相) 长大时, 把 SiC 颗粒推移到最后凝固的熔体中, 但是从图 1 中还可以看出在初生 α -Mg 相的内

① 收稿日期: 1996-03-18; 修回日期: 1997-03-18

蔡 叶, 男, 30 岁, 博士后

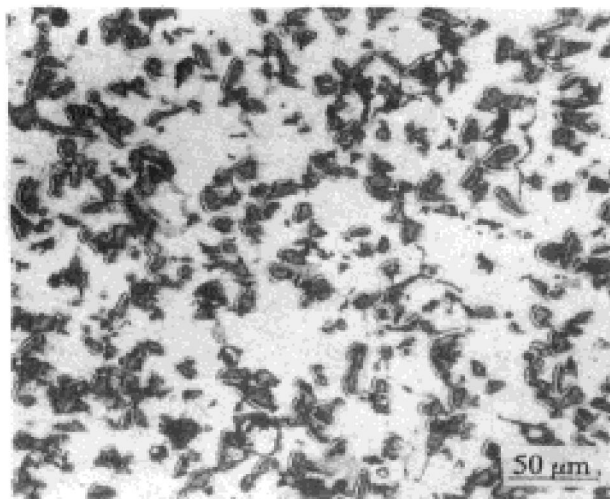


图1 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料的凝固组织
部仍有少量 SiC 颗粒存在。

2.2 SiC_p/α-Mg 界面结构

图2是 SiC_p/α-Mg 界面的典型形貌。对大量的 SiC_p/α-Mg 界面观察表明, SiC_p/α-Mg 界面光滑, 无界面反应层。但在初生 α-Mg 相与 SiC 颗粒的界面上常可看到其它的相存在, 如图3所示。图4为图3(a)中第三相的电子衍射图, 该相为体心立方结构, 晶格常数 $a = 10.56 \text{ \AA}$ 即 Mg₁₇Al₁₂相。从图3(a)中可以看出, Mg₁₇Al₁₂相是从 SiC 颗粒表面形核生长的。图5是 SiC_p/Mg₁₇Al₁₂界面微区电子衍射合成图。经过标定, 得出 SiC 颗粒与 Mg₁₇Al₁₂共晶相的位向关系为: $[\bar{1}101]_{\text{SiC}} \parallel [\bar{1}\bar{1}1]_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$ 及 $(0111)_{\text{SiC}} \parallel (110)_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$ 。

由以上关系绘出的 SiC 颗粒与 Mg₁₇Al₁₂界

面处的原子排列, 如图6所示。可见, SiC 颗粒与 Mg₁₇Al₁₂相的原子排列大体成一对对应关系, 因此 Mg₁₇Al₁₂与 SiC 颗粒界面为半共格界面。Mg₁₇Al₁₂共晶相在 SiC 颗粒表面形核长大, 是由于在凝固过程中, 那些不能作为初生 α-Mg 相形核衬底的 SiC 颗粒, 随着初生 α-Mg 的长大而被推移, 直到与另一相对生长的初生 α-Mg 相相遇时才停止移动。在初生 α-Mg 相生长的同时, 由于溶质再分配的作用, 铝溶质被排斥到初生相凝固的前沿, 当铝溶质含量达到共晶含量时即发生共晶反应, 当 SiC 颗粒满足形核衬底的条件时, 共晶相 Mg₁₇Al₁₂便在 SiC 颗粒表面形核长大。

在 SiC_p/α-Mg 界面处还可以观察到另一种相在 SiC 颗粒表面形核长大, 如图3(b)所示。图7为该相[001]和[111]方向的电子衍射

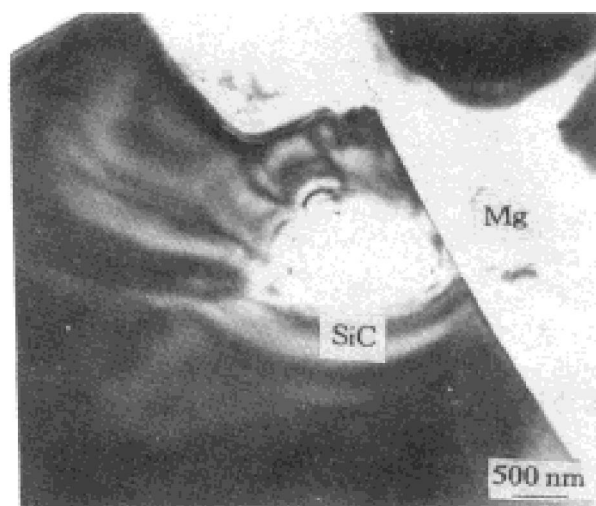


图2 SiC_p/Mg(AZ81) 复合材料界面典型形貌

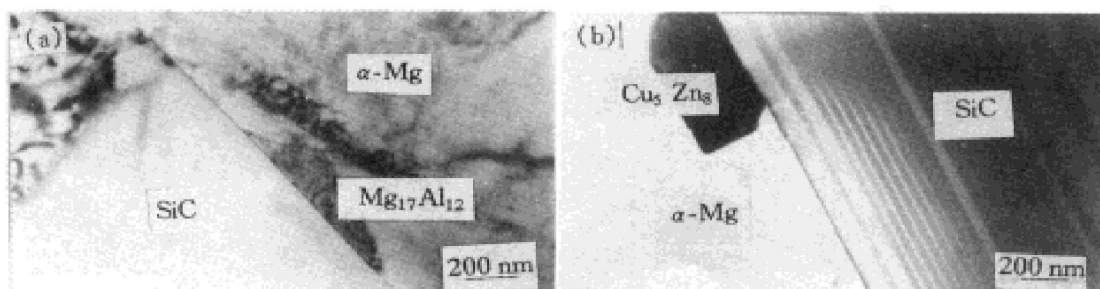


图3 SiC_p/α-Mg 界面形貌

(a) 一界面处存在 Mg₁₇Al₁₂相; (b) 一界面处存在 Cu₅Zn₈相

图, 标定后确定为 Cu_5Zn_8 相。图 8 是 Cu_5Zn_8 相与 SiC 颗粒界面处微区电子衍射合成图, 标定后得出 Cu_5Zn_8 相与 SiC 颗粒的位向关系为:

$$[100]_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel [\bar{2}\bar{1}\bar{1}0]_{\text{SiC}}, (001)_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel (0001)_{\text{SiC}}$$

由以上位向关系绘出的 SiC/ Cu_5Zn_8 界面

处原子排列如图 9 所示。从图中可以看出 Cu_5Zn_8 与 SiC 颗粒在该界面上的原子排列对应关系良好, 这进一步说明 Cu_5Zn_8 相可在 SiC 颗粒表面形核长大。随着温度的降低, 初生 α -Mg 相在结晶生长时, 把铝溶质及 Cu、Zn 等溶

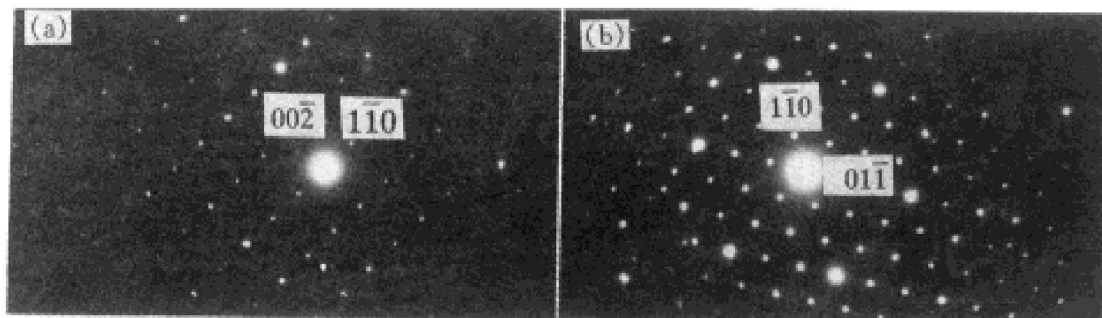


图 4 $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 相电子衍射花样

(a) $-\bar{1}10$; (b) $-\bar{1}11$

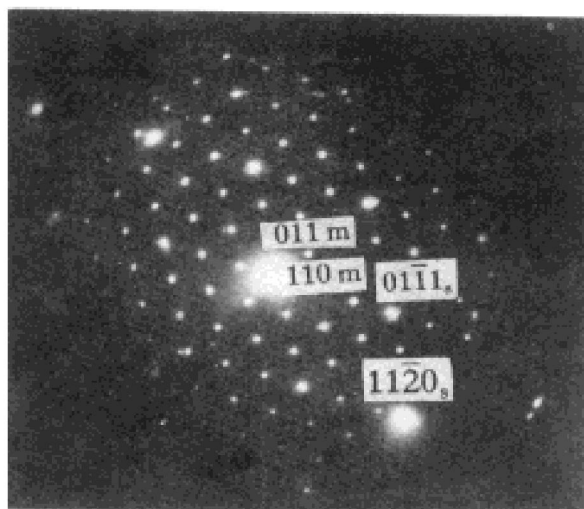


图 5 $\text{SiC}_p/\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 界面微区电子衍射合成图

s—SiC; m— $\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$

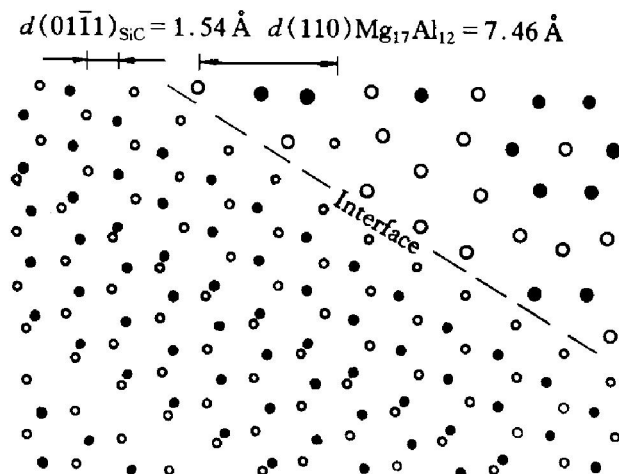


图 6 $\text{SiC}_p/\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}$ 界面处的原子排列

○—Si; ●—C; ○—Mg; ●—Al

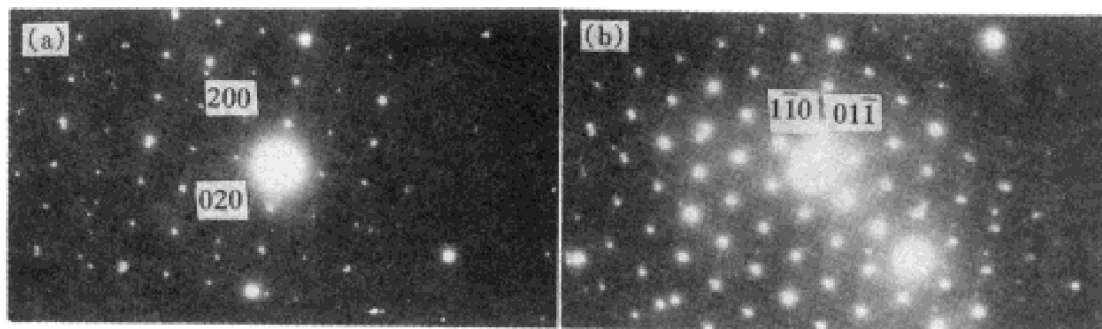


图 7 Cu_5Zn_8 相电子衍射花样

(a) $-\bar{1}00$; (b) $-\bar{1}11$

质元素排斥到凝固生长的前沿。当 SiC 颗粒满

足 Cu₅Zn₈ 形核衬底的条件时, Cu₅Zn₈ 相将在 SiC 颗粒表面形核生长。

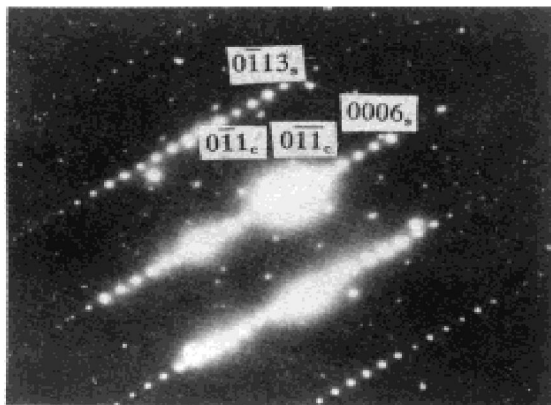


图8 SiC_p/Cu₅Zn₈ 界面微区电子衍射合成图
s—SiC; c—Cu₅Zn₈

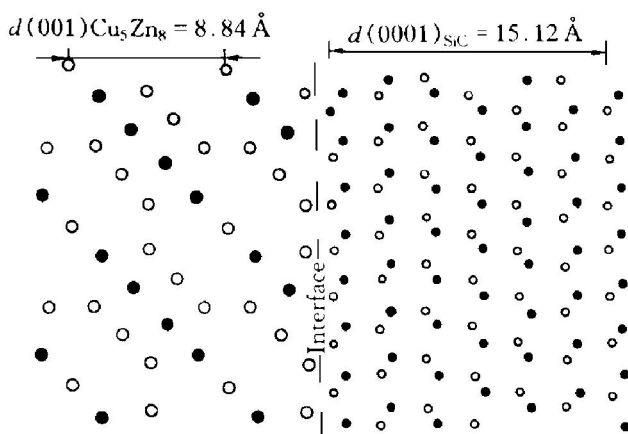


图9 SiC_p/Cu₅Zn₈ 界面处的原子排列
○—Cu; ●—Zn; ○—Si; ●—C

3 结论

(1) SiC_p/α-Mg 相界面光滑, 无界面反应层; 但在 SiC_p/α-Mg 界面发现了 Mg₁₇Al₁₂ 共晶相及 Cu₅Zn₈ 相。

(2) Mg₁₇Al₁₂ 共晶相以 SiC 颗粒为衬底形核长大, 它们之间的位向关系为

$$[\bar{1}10]_{\text{SiC}} \parallel [\bar{1}11]_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$$

$$(01\bar{1}1)_{\text{SiC}} \parallel (110)_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$$

(3) Cu₅Zn₈ 相能在 SiC 颗粒表面形核长大, 它们之间的位向关系为

$$[100]_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel [\bar{2}1\bar{1}0]_{\text{SiC}}, (001)_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel (0001)_{\text{SiC}}$$

参考文献

- 1 Warren R, Anderson C H. Composites, 1984, 15: 101.
- 2 Iseki T, Kameda T *et al.* J Mater Sci, 1984, 19: 1692.
- 3 Kannikeswaran K, Lin R Y. J Met, 1987, 17: 39.
- 4 Lolyd D J, Lagace H, Mcleod A, Morris P L. Mater Sci Eng, 1989, 107: 73.
- 5 Moshier W C *et al.* J Mater Sci, 1987, 22: 115.
- 6 Laurent V, Jarry P *et al.* J Mater Sci, 1992, 27: 4459.
- 7 Luo A, Pekguleryzu M O. AFS Trans, 1994, 102: 313.

INTERFACE OF AS-CAST SiC_p/Mg(AZ81) COMPOSITE

Cai Ye, Huang Beiyun, Su Huaqin †

State Key Lab for Powder Metallurgy,

Central South University of Technology, Changsha 410083

† Department of Mechanical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096

ABSTRACT The interface of as-cast SiC_p/Mg(AZ81) composite has been studied by TEM. The results showed that SiC_p/α-Mg interface is smooth and there is no chemical reaction products at the interface. Mg₁₇Al₁₂ eutectic phase and Cu₅Zn₈ phase have been found nucleating and growing on the SiC. Their relationships are $[\bar{1}10]_{\text{SiC}} \parallel [\bar{1}11]_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$, $(01\bar{1}1)_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}} \parallel (110)_{\text{Mg}_{17}\text{Al}_{12}}$ and $[100]_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel [\bar{2}1\bar{1}0]_{\text{SiC}}$, $(001)_{\text{Cu}_5\text{Zn}_8} \parallel (0001)_{\text{SiC}}$.

Key words as-cast SiC_p/Mg(AZ81) composite interface orientation relationship

(编辑 朱忠国)