

# 常规和快速凝固 Al-3.18Ti-0.65C 合金 中 TiC 相的形成机理\*

石广新 沈宁福 任晨星

(郑州工学院材料研究中心 450002)

**摘 要:** 采用快速凝固技术在AL-3.18Ti-0.65C合金(wt%)合金中获得了呈弥散分布的TiC相颗粒。结合常规和快速凝固组织的分析对比,研究和探讨了相的形成过程和机制;快凝技术为研制AL/TiC自生复合材料开辟了新的途径。

**关键词:** 快速凝固, TiC相, 热力学分析

**中图分类号:** TG113

快速凝固技术和铝基复合材料的发展都不同程度地提高或改善了铝合金的软科学性。目前大多数人工复合材料中的强化相颗粒与基体之间存在着界面结合不良现象(不润湿性)且其制备工艺相当复杂,铝基自生复合材料则以其工艺相对简单,无不良润湿,化学反应等问题及优异的高温稳定性而日益显示出潜在优势,本文拟通过快速凝固技术在AL-Ti-C合金中直接形成单一弥散分布的TiC相以寻求获得铝基复合材料的新途径。

## 1 实验方法

实验合金以99.9%AL, 99.7%Ti和石墨粉为原料,在真空感应炉内熔配而成(每批料重600g),化学成分(wt%)为: Ti3.18, C0.65, Fe0.25, Si0.13, 余为AL。在金属型内浇注成直径10mm圆棒,再在铜制单辊急冷旋铸机上以60KPa的氩气压力喷制成厚60-80 $\mu$ m,宽约5mm的条带,铜辊线速度35m/s,每批料重20g,合金熔体温度为1623K,保温5min后喷射,条带的估算冷却速度为 $10^5$ - $10^6$ K/s。

合金的显微组织和相结构分析在2000Fx透射电镜(TEM)和Philips 1700x-射线衍射仪上进行,TEM样品经电解减薄,及随后的离子减薄制成,在GATAN666电子能量损失谱(EELS)仪上分析微区成分。

## 2 实验结果

图1所示为金属型铸棒的TEM图像。尺寸为0.3-1 $\mu$ m的TiC相颗粒呈“连体”状分布于 $\alpha$ -Al基体的某些区域,同时存在有少量片状Al<sub>3</sub>Ti相,且在极少数区域显现出针状

\* 本文由国家863项目资助,项目编号:715-26-02-02

收稿日期: 1995-03-20

Al<sub>3</sub>Fe 相。经快速凝固后,  $\alpha$ -Al 基体中的针片状相消失, TiC 相则以 30-100nm 的尺寸弥散分布在基体  $\alpha$ -Al 中, 如图 2 所示, 根据 TEM 会聚束衍射和 X-射线衍射分析结果标定的快凝组织中 TiC 相的晶格常数为 0.432nm, 同 Ref[1]的结果一致。EETLS 测定的 TiC 相的原子组成为 TiC<sub>0.76</sub>, 近乎于合金中的原子比。

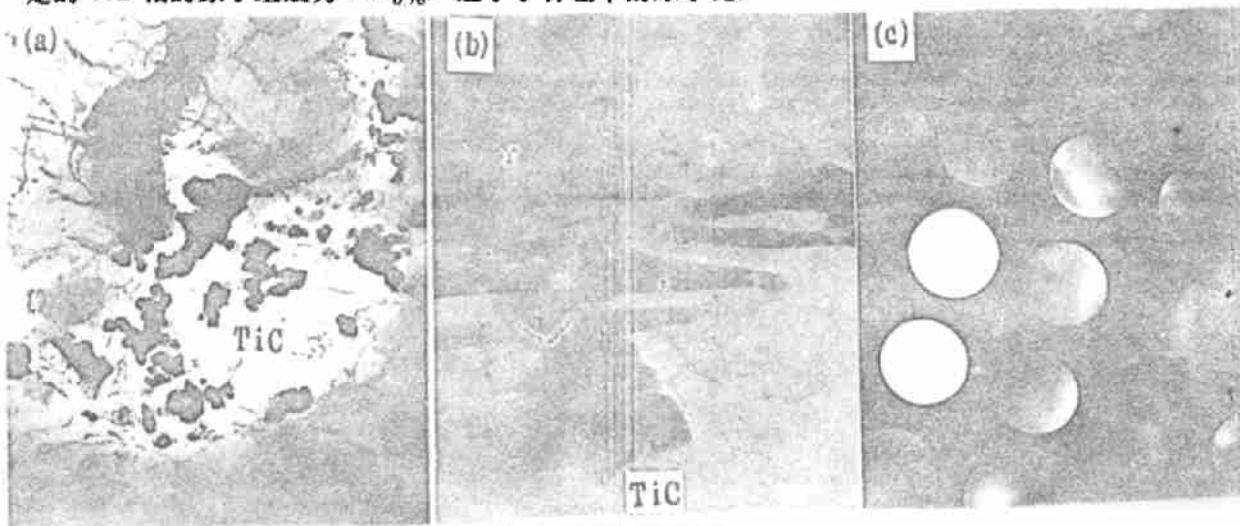


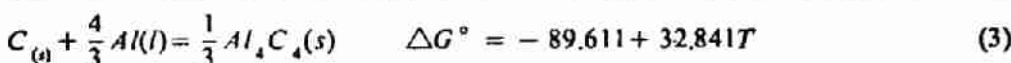
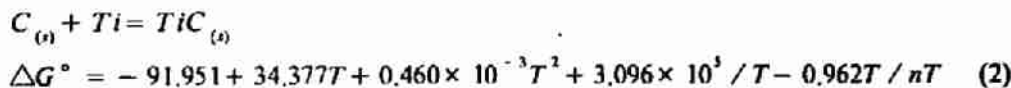
图1 金属型铸件的显微组织

### 3 讨论

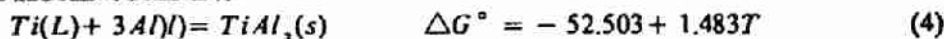
在 AL-Ti-C 合金系中, 液态下 C 的平衡浓度  $C_o$ (wt-%)和 Ti 的平衡浓度  $C_{Ti}$  与温度 T (K) 之间的关系可表示为:

$$C_o = \frac{1}{CT} e^{\times p(9.664 + 5.533 \times 10^{-3}T - 1.965 \times 10^4/T + 33.72 \times 10^4/T^2 - 0.116/\lambda T)} \quad (1)$$

对于本实验合金, 当  $T=1623K$ ,  $C_{Ti}=3.18wt\%$ , 那么  $C_o=1.29 \times 10^{-2}wt\%$ , 溶于液 AL 中的这部分 C 可以在快凝右过饱和固溶于 Al 的这部分 C 可以在快凝右过饱和固溶于  $\alpha$ -Al 中。而合金中的大部分 C 则以固体  $C_{(s)}$  的形式存在于液 AL 中且更为可能发生以下反应:



同时合金中可能发生的反应还有:



根据关系式(4)建立起如图3所示的关系曲线。可见, 在 1250 至 1900K 的温度段内, TiC 相的形成自由能负值最大, 亦即 Ti 与 C 之间的结合趋向最强, 只要满足动力学条件, 在合金中形成单一的 TiC 第二相是可能的。

在合金的熔炼和金属型凝固过程中, 溶解于液态 AL 中的大部分 Ti 将合金中的石墨粉末包围渗透并反应生成呈“连体”状的 TiC 相颗粒; 剩余部分 Ti 在合金凝固过程中则以

$\text{Al}_3\text{Ti}$  片状相析出, 形成如图 1 所示的显微组织特征, 这种合金在快速凝固过程中, 经高温重熔保温, 使反应 (3) 得以充分进行, 而且在电磁搅拌作用下 TiC 颗粒尺度细化并在整个熔体中弥散分布, 在随后的急冷条件下, 这一状态得以保持到室温而且  $\text{Al}_3\text{Ti}$  相的形成同时受到抑制, 形成图 2 所示的显微结构特征, 此外, 所选择的合金原子比  $\text{C}:\text{Ti} \approx 0.80$  近似于所形成的 TiC 相的原子组成  $\text{TiC}_{0.76}$  从成分上为在此类合金中形成单-TiC 相颗粒提供了可行性。

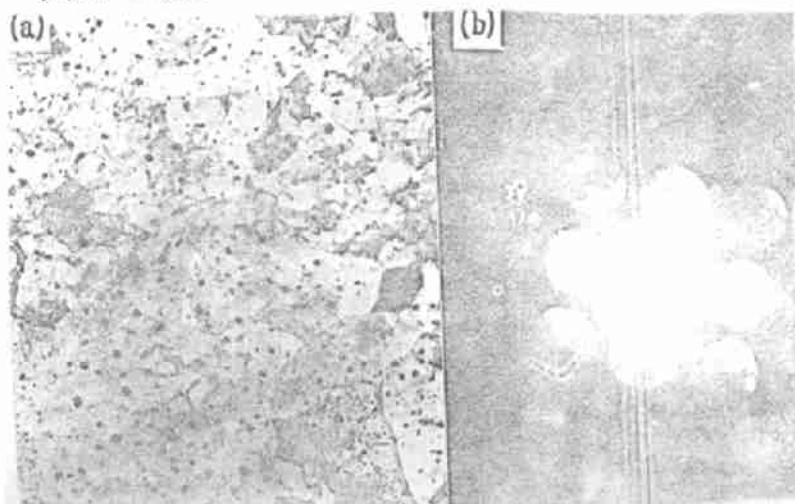


图 2 快速凝固 AL-3.18Ti-0.65C 合金的显微组织

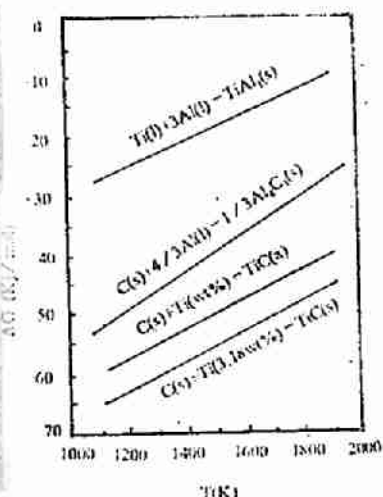


图 3. TiC,  $\text{Al}_4\text{C}_3$  和  $\text{Al}_3\text{Ti}$  形成自由能  $\Delta G$  与温度关系曲线

## 4 结论

- (1) 在快速凝固 AL-3.18Ti-0.65C 合金中获得了呈弥散分布的单-TiC 相颗粒。
- (2) 在适当的成分条件下, 在 Al-Ti-C 合金中形成单-TiC 第二相, 热力学上是可能的, 动力学上是可行的。

## 参 考 文 献

- 1 Brander E. Aeds. Smighells Metals Reference Book, London: Butterworth, 1993
- 2 Rapp R. A. Zheng X. Metall Trans, 1991, 22A: 3071

## Formation Mechanism of TiC Phase in Rapidly-Quenched AL-3.18Ti-0.65C Alloy

Shi Guangxin Shen Ningfu Ren Chenxing  
(Zhengzhou Institute of Technology Materials Research Center)

**Abstract:** The microstructures of AL-3.18Ti-0.65C alloy DC-casting and melt-spun have been characterized using TEM, EELS and X-ray diffraction. In the melt-spun, uniform and fine-scale dispersions of intermetallic phase are single TiC phase. The formation mechanism of TiC phase is discussed.

**Keywords:** rapid solidification, TiC phase, thermodynamic analysis