

文章编号: 1004-0609(1999)04-0740-04

# TiC/2618 复合材料的再结晶过程及高温性能<sup>①</sup>

龙春光 张厚安 唐果宁 彭成章  
(湘潭工学院 机械工程系, 湘潭 411201)

**摘要:** 利用退火实验、金相观察及高温拉伸实验, 采用复合材料与基体合金对比的方法, 对 XD 法(即原位反应法)制备的 TiC(6%)/2618 复合材料的再结晶过程和高温力学性能进行了研究。结果表明: 通过 XD 法在 2618 合金中加入的硬度高而尺寸细小的 TiC 增强相能阻碍基体的再结晶, 使其再结晶温度至少提高了 50 °C; 同时, 在高温拉伸时, TiC 粒子能有效阻碍位错运动, 从而提高复合材料的高温力学性能。

**关键词:** 再结晶; TiC/2618 复合材料; XD 法

**中图分类号:** TG113.25

**文献标识码:** A

2618(即 LD7) 是传统的锻造铝合金中耐热性最好的合金, 它广泛应用于航空发动机及制作其他在高温条件下工作的零部件<sup>[1]</sup>。XD 法即原位反应法<sup>[2,3]</sup>, 是 80 年代起源于美国的一种制备自生陶瓷颗粒增强金属基复合材料的新工艺, 它具有如下优点<sup>[4~6]</sup>: 制得的复合材料增强相细小弥散(约 0.1~1.0 μm), 与基体界面相容性好, 无反应发生, 且材料力学性能优良。本文作者曾经利用此法成功地制备了 TiC(6%)/2618 复合材料<sup>[7,8]</sup>; 其中 TiC 粒子的平均尺寸约 0.6 μm、且表面光洁、与基体的结合强度较高、表现出良好的综合性能。本文主要研究 XD 法制备的 TiC(6%)/2618 复合材料的再结晶过程和规律, 探讨 TiC 粒子对复合材料良好耐热性的影响, 以便能合理制订再结晶退火工艺。

## 1 实验

### 1.1 再结晶实验

将 XD 法制备的 TiC/2618 复合材料经热轧(14.0 mm → 7.0 mm)、冷轧(7.0 mm → 1.7 mm, 冷变形量为 74%)后, 沿轧制方向取样;

在箱式炉中退火实验, 即分别加热至 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450 °C 并保温 1 h, 炉冷。然后在 HV-10A 型轻负荷维氏硬度机上测硬度, 测定试样各温度点硬度值, 得硬度—温度曲线。取上述退火试样进行金相观察。

### 1.2 高温拉伸实验

从轧制板材上取下样品, 经 550 °C 盐浴淬火后, 于(190 ± 5) °C 下保温 20 h 进行时效处理。然后分别在室温, 100, 150, 200, 250, 300, 350 °C 下进行拉伸实验, 拉伸速度为 1 mm/min, 设备为 Instron8032 型电液伺服万能材料试验机。

## 2 实验结果与分析

### 2.1 再结晶实验

图 1 是退火试样通过维氏硬度实验得出的硬度(HV) — 温度(°C)变化曲线。图 2、图 3、图 4、图 5、图 6 分别是 2618 合金和 TiC/2618 复合材料在不同温度退火后的微观组织。

从图 1 可以看出: 2618 合金在 250 °C 以下退火时, 其硬度为 HV83 左右, 其微观组织也

① 收稿日期: 1999-07-10; 修回日期: 1999-09-08 龙春光(1966-), 男, 讲师, 硕士

没有发生明显变化(见图 2), 仍然可以看见轧制后产生的明显的纤维组织, 说明材料尚处于回复阶段。但退火温度高于 250 °C 以后硬度开始下降, 其微观组织也开始发生显著变化, 纤维组织不再明显, 300 °C 时整个视场均可看到再结晶晶粒(如图 4 所示), 说明材料已经开始发生再结晶。

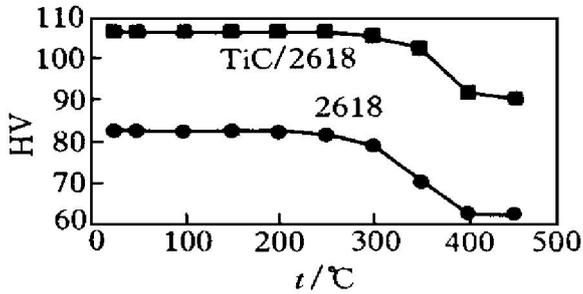


图 1 退火试样的硬度(HV) — 温度(°C) 曲线

Fig. 1 Curves of hardness vs temperature of annealed samples

要分布在对角线上(其它部分几乎看不到晶粒), 且可看到晶粒初始形成的痕迹, 表明 TiC/2618 复合材料的开始再结晶温度约 350 °C。这归因于材料经较大的冷变形后沿轧制方向的内储能高, 处于热力学不稳定状态, 随着温度的升高, 此方向上的原子容易获得足够的活动能而自发地恢复到稳定状态。在温度升到足够高时, 开始形成新晶核并长大, 即形

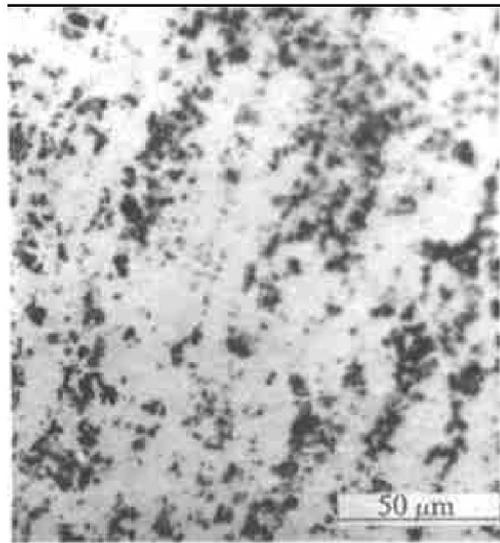


图 3 TiC/2618 的微观组织(250 °C)

Fig. 3 Microstructure of TiC/ 2618 composites (250 °C)

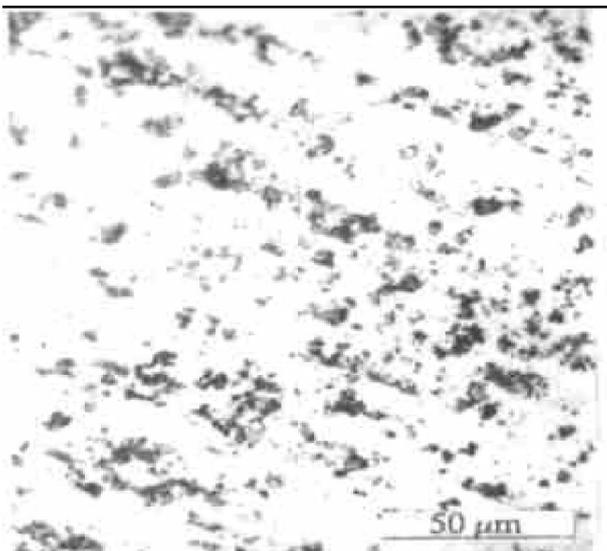


图 2 2618 的微观组织(250 °C)

Fig. 2 Microstructure of 2618 alloy(250 °C)

而对于 TiC/2618 复合材料来说, 300 °C 以下退火时, 硬度始终保持在 HV106 左右(见图 1), 微观组织变化也不大, 基本上是对角线方向的纤维组织(如图 3、图 5 所示), 说明复合材料尚处在回复阶段。而在 350 °C 以上硬度开始明显下降, 但下降的趋势比 2618 基体要平缓。此外, 从 TiC/2618 复合材料 350 °C 退火时(见图 6)的微观组织可以看出: 再结晶晶粒主

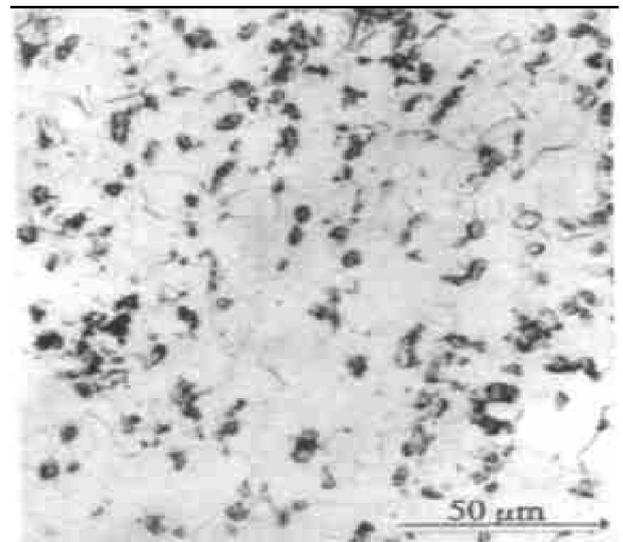


图 4 2618 的微观组织(300 °C)

Fig. 4 Microstructure of 2618 alloy(300 °C) 成再结晶晶粒。

根据有关理论<sup>[9]</sup>，再结晶温度是指金属(或合金)经较大变形(70%)后，在1h内完成再结晶(或再结晶的体积分数达95%)的最低加热温度。根据图4、图6并结合图1可以看出：TiC/2618复合材料的再结晶温度在350℃以上，而2618合金则为300℃左右，说明前者

要原因是：利用XD法制得的TiC/2618复合材料中，增强相TiC粒子硬度高、尺寸细小<sup>[7]</sup>、分布弥散，不仅能阻碍加热时位错重新排列构成亚晶界，同时也影响了大角晶界的形成与迁移过程，从而阻碍了再结晶过程，提高了再结晶温度。材料获得了更高的耐高温性能，扩大了2618耐热合金的使用范围。

### 2.2 力学性能实验

图7是2618合金及TiC/2618复合材料不同温度下的拉伸曲线。从图中可以看出：

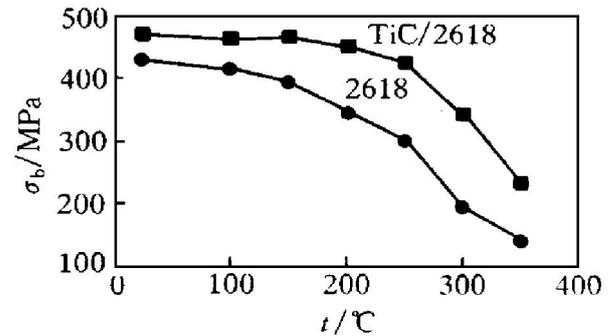


图7 2618及TiC/2618复合材料的拉伸曲线

Fig. 7 Extension curves of 2618 and TiC/2618 composites

(1) 150℃以下，两曲线变化都较为平坦，说明此时温度对两种材料的软化效果并不明显，这是由于拉伸变形过程中因位错增值导致的加工硬化与温度对材料的软化的综合作用。

(2) 在150~250℃之间，2618合金拉伸曲线的变化比复合材料要陡峭得多，而且，2618合金的拉伸曲线在150℃左右就明显下降，而复合材料要在250℃以后才开始明显下降，说明温度对前者更容易软化，且在此温度范围内，其软化率比后者要大，也就是说复合材料的耐热性能比2618合金要好。一方面这是由于细小弥散的第二相TiC粒子产生的弥散强化作用，以及在拉伸过程中的TiC粒子与位错产生的交互作用，阻碍了位错运动；同时，由于TiC粒子硬度高、与基体结合较强，位错主要是以绕越TiC粒子的方式(即Orowan机制<sup>[10]</sup>)阻碍位错运动的。另一方面，如前所述，TiC粒子能有效地阻碍2618合金基体发生回复和再结晶。

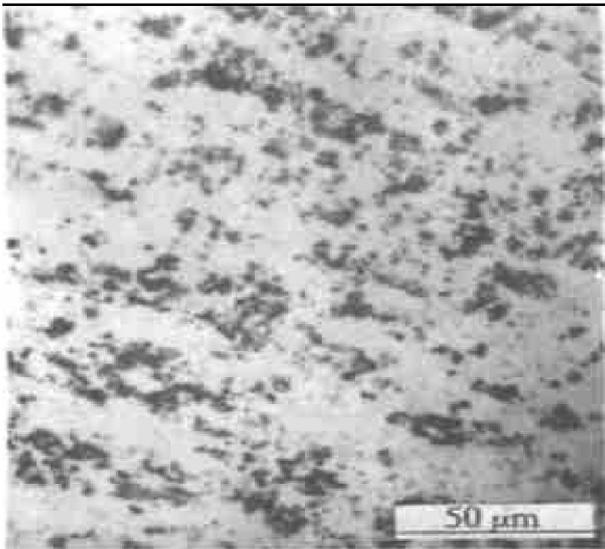


图5 TiC/2618的微观组织(300℃)

Fig. 5 Microstructure of TiC/2618 composites (300℃)

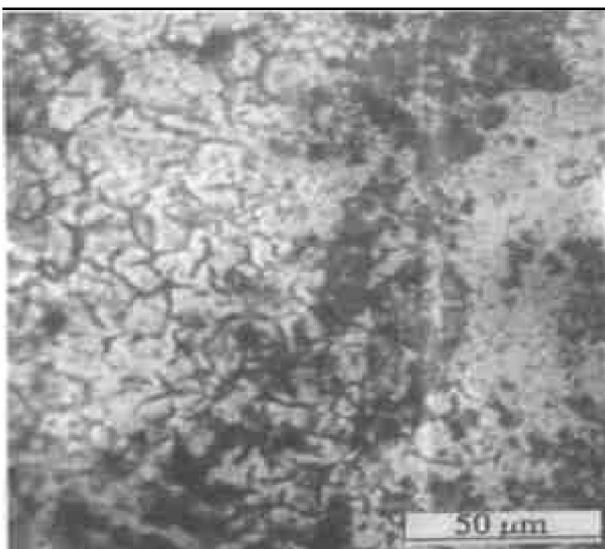


图6 TiC/2618的微观组织(350℃)

Fig. 6 Micrograph of TiC/2618 composites (350℃)

比后者的再结晶温度至少提高了50℃。其主

(3) 从图 7 还可以看出, 280 °C 以上两条曲线几乎相互平行, 说明此时材料的变形机制主要是扩散控制的蠕变机制(另文报道), 在此机制作用下, 第二相粒子对合金的强化作用有所减弱, 因此, 其拉伸曲线变得陡峭, 但 TiC/2618 复合材料的性能仍高于 2618 合金。

### 3 结论

(1) 用 XD 法制备的 TiC/2618 复合材料中, TiC 粒子能有效地阻碍位错运动, 从而阻碍了基体再结晶过程, 使 TiC/2618 复合材料的再结晶温度比 2618 合金至少提高了 50 °C。

(2) TiC/2618 复合材料的高温力学性能优于 2618 合金, 能扩大 2618 合金的高温适用范围。

#### REFERENCES

1 Ma Zongyi(马宗义). *Acta Metall Sinica*(金属学报), 1995, 30(1): 27.

- 2 Tao Chunhu(陶春虎). *Materials Engineering*(材料工程), 1993, (12): 21.
- 3 Ma Xiaochun(马晓春). *Materials Science and Engineering*(材料科学与工程), 1995, 12(1): 37.
- 4 Westwood A R C. *Metall Trans*, 1988, (19A): 749.
- 5 Zhang Erlin(张二林). *Trans Nonferrous Met Soc China*, 1998, 8(1): 92.
- 6 Wunderlich W *et al.* *E Metall*, 1990, (81): 802.
- 7 Long Chunguang(龙春光). *The Chinese Journal of Nonferrous Metals*(中国有色金属学报), 1997, 7(1): 162.
- 8 Long Chunguang(龙春光). *Journal of Central South University of Technology*(中南工业大学学报), 1996, 27(2): 324.
- 9 Li Chao(李超). *Physical Metallurgy*(金属学原理). Harbin: Harbin University of Technology Press, 1989, 7: 332.
- 10 Shen Hong(沈鸿) and Zhou Zijian(周子健). *Mechanical Engineering Manual*(机械工程手册), (Edition 2), Beijing: Mechanical Industry Press, 2 ~ 72.

## Recrystallization process and high temperature property of TiC/2618 composites prepared by XD method

Long Chunguang, Zhang Houan, Tang Guoning, Peng Chengzhang  
*Department of Mechanical Engineering of Xiangtan Institute of Technology,*  
*Xiangtan 411201, P. R. China*

**Abstract:** By anneal experiment, microstructure observation and extension experiment at elevated temperature, and by comparing the composites with the matrix, the recrystallization process and the mechanical properties of high temperatures of TiC/2618 composites prepared by the XD method were studied. The results show that the recrystallization behavior of the 2618 alloy is hindered effectively by adding the fine and hard TiC particles, and its recrystallization temperature is increased at least 50 °C, and because of the hindrance of the dislocation movement by the TiC particles, the mechanical properties of high temperatures have been increased.

**Key words:** recrystallization; TiC/2618 composites; XD method

(编辑 黄劲松)