

# SiC<sub>w</sub>/6061Al 复合材料时效机制的研究\*

刘秋云<sup>1,2</sup> 费维栋<sup>1</sup> 姚忠凯<sup>1</sup> 赵连城<sup>1</sup>

(1. 哈尔滨工业大学 2. 中国科学院力学研究所)

**摘 要** 研究了 SiC 晶须增 6061 铝基复合材料及基体合金在 170 和 190 时效时的析出行为. 结果表明: 复合材料达到峰时效的时间均较基体合金有所提前. TEM 观察发现: 复合材料基体中的位错密度明显高于相应铝合金; 达到峰时效时前者析出相的数量明显少于后者, 而前者析出相的尺寸却明显大于后者. 分析了复合材料基体中高密度位错析出相形核和长大的影响

**关键词** 碳化硅晶须 铝基复合材料 时效

**分类号** TB331, TG156

## STUDY OF THE AGING MECHANISM OF SiC<sub>w</sub>/6061Al COMPOSITE

LIU Qiuyun<sup>1,2\*\*</sup> FEI Weidong<sup>1</sup> YAO Zhongkai<sup>1</sup> ZHAO Liancheng<sup>1</sup>

(1. Box 433, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001

2. Institute of Mechanics, The Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

**ABSTRACT** The aging precipitation behavior of SiC<sub>w</sub>/6061Al composite and 6061 aluminum alloy aged at 170 and 190 were studied. The results indicated that the aging time to achieve peak hardness in composite both aged at 170 and 190 were reduced comparing to the 6061 aluminum alloy. The results of TEM observation show that the density of dislocation in Al-matrix in composite was very higher; the density of precipitation in composite was small and the size of precipitation was larger than that in 6061Al alloy. The effects of dislocation on the nucleation process and growth of precipitation in composite were discussed.

**KEY WORDS** silicon carbide whisker, aluminum matrix composite, aging

以往的研究表明<sup>[1-3]</sup>, 由于晶须 (或颗粒) 的加入, 复合材料的时效过程被加速. 其原因是晶须 (或颗粒) 与基体的热膨胀系数差异很大, 导致基体位错等缺陷密度增加. 然而, 复合材料中高密度位错是加速了析出相的形核过程还是加速了长大过程, 抑或是两个过程都被加速了, 目前这方面的研究报道较少. 本文探讨高密度位错加速复合材料时效的本质.

**实 验** 采用挤压铸造法制备晶须体积分数为 20% 的 SiC<sub>w</sub>/6061Al 复合材料, 基体为商用 6061 铝合金. 两者均在 520 固溶 30min, 水淬, 随后在 170 和 190 时效. 测量维氏硬度以研究时效动力学.

\* 国家自然科学基金资助项目 59631080. 1997 年 10 月 12 日收到初稿; 1998 年 5 月 11 日收到修改稿.

本文联系人: 刘秋云, 博士, 哈尔滨市 150001, 哈尔滨工业大学 433 信箱

\*\* To whom correspondence should be addressed

采用带有液氮冷却台的低温离子减薄仪制备复合材料 TEM 试样, 以防止在减薄过程中引入位错及产生附加时效. 用双喷法制备基体合金 TEM 试样. TEM 观察在 CM-12 透射电镜上进行.

实验结果 由图 1 可见, 复合材料在 170 和 190 时效后的硬度值比基体合金高 50% 和 44%, 达到峰时效的时间 (9h 和 3h) 都比基体合金 (11h 和 4h) 少, 说明复合材料的时效被加速了.

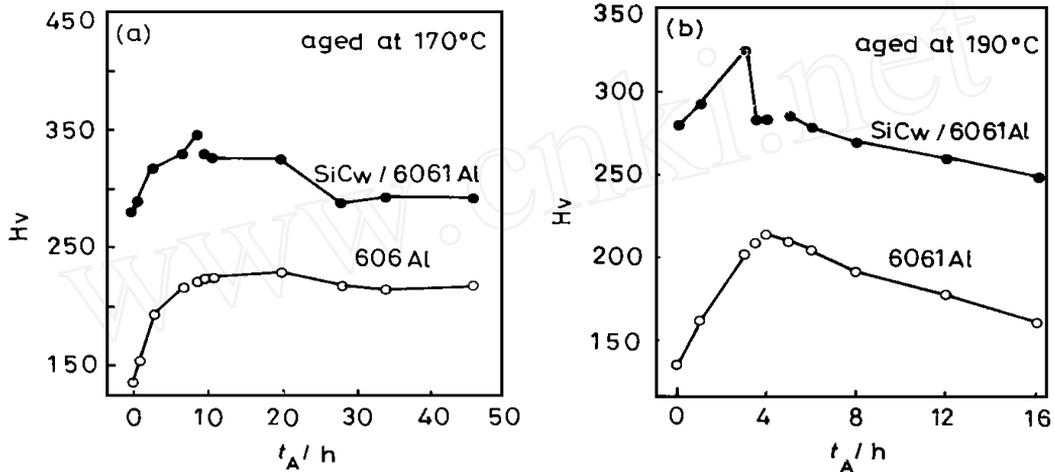


图 1 SiC<sub>w</sub>/6061Al 复合材料与 6061Al 的时效硬化曲线

Fig. 1 Age-hardening curves of SiC<sub>w</sub>/6061Al composite and 6061Al

对于 Al-Mg-Si 系合金, 时效析出相的顺序<sup>[4-5]</sup>为: - - (Mg<sub>2</sub>Si). 与基体共格, 会产生很大的共格畸变, 在 TEM 上可以观察到明显的共格应变衬度; 与基体是半共格的, 针状, 无明显的共格应变衬度. 比较 TEM 照片的衬度可以区分 和 <sup>[6]</sup>.

比较图 2a, b 和 c, d 可以发现: 在 170 和 190 达到峰时效时, 复合材料中析出相的数量均明显低于基体合金中析出相的数量, 并且析出相的尺寸明显大于基体合金中析出相的尺寸.

讨论 关于 Al-Mg-Si 析出相形核机制的研究表明<sup>[4]</sup>, 析出早期总是伴随着空位 + Mg + Si 集团的形成, 而后的结构析出 (相和 相) 均由这些富空位集团上发展而来. 因此过饱和空位浓度的提高会加速析出相的形核过程. SiC<sub>w</sub>/6061Al 基体中位错密度很高, 被螺型位错所吸收空位形成卷线位错 (图 2e, f), 刃型位错吸收空位形成割价, 降低了基体中过饱和空位的浓度, 使析出相的形核变得困难, 这是造成 SiC<sub>w</sub>/6061Al 中析出相密度较基体低 (见图 2a, b, c, d) 的根本原因. 复合材料中析出相并不沿位错析出 (图 2e, f), 说明复合材料基体中高密度位错并未加速析出相形核.

由图 2a, b 和 c, d 可以看出, 基体合金和复合材料在 170 时效达到峰时效时, 均析出 相, 但是, 复合材料中 相却明显大于基体合金中 相. 190 时效也可以观察到类似现象. 析出相的长大与原子扩散密切相关. 复合材料基体中存在的高密度位错, 加速了 Mg 原子和 Si 原子的扩散, 导致 SiC<sub>w</sub>/6061Al 析出相的长大加速. 因此, SiC<sub>w</sub>/6061Al 时效析出过程被加速的原因是析出相的长大过程被加速了.

图 2c, d 和 e, f 还表明, 190 时复合材料析出 相, 而基体合金却析出 相. 可见, 复合材料中高密度位错还使时效析出的顺序被加速. 这也是高密度位错加速了 Mg 原子和 Si 原子扩散所致.

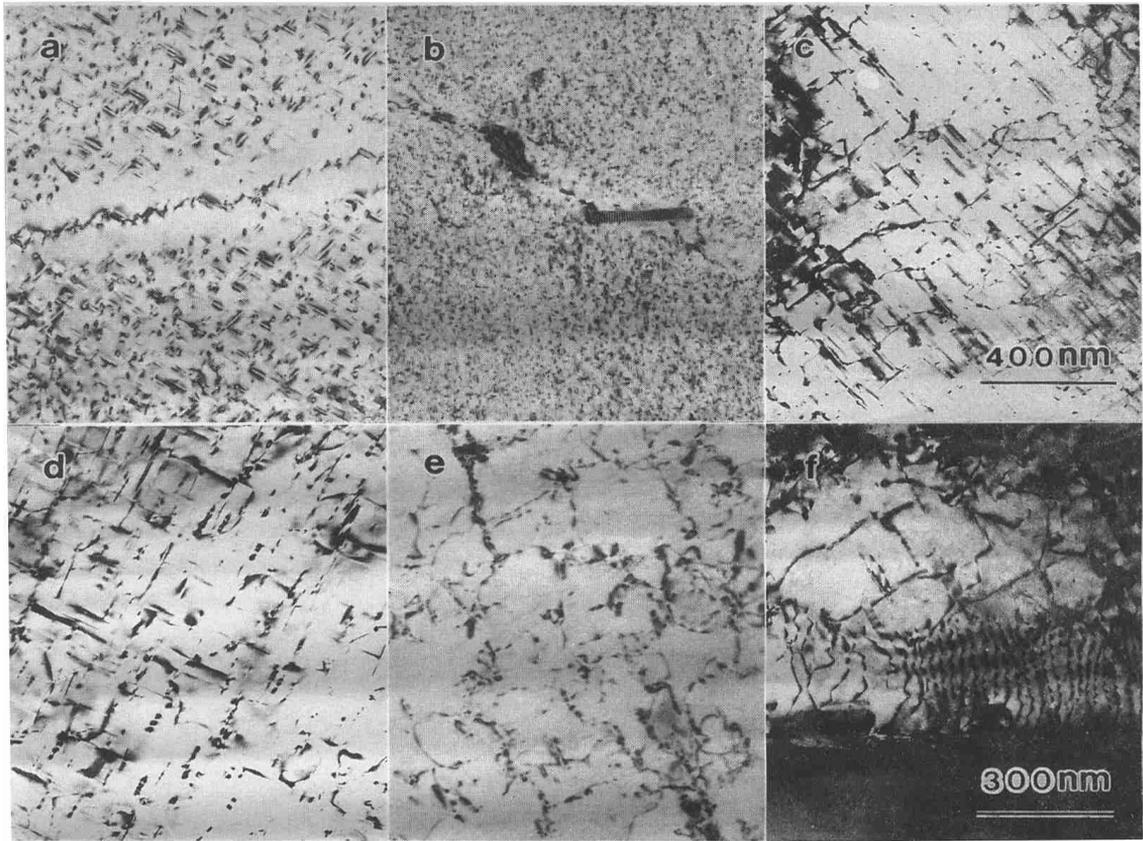


图2 在170 (a, c, e, f) 和190 (b, d) 峰时效后, 6061Al 的析出相 (a, b) 和位错组态 (e) 及 SiC<sub>w</sub>/6061Al 的析出相 (c, d) 和位错组态 (f)

Fig. 2 After aged at 170 (a, c, e, f) and at 190 (b, d), the morphologies at precipitation in 6061 Al (a, b) and in SiC<sub>w</sub>/6061Al (c, d) as well as configuration of dislocations of 6061 Al (e) and SiC<sub>w</sub>/6061Al (f)

## 结 论

1. SiC<sub>w</sub>/Al 复合材料中, 由于晶须的加入使得复合材料在时效时析出相的长大过程和析出顺序的加速. 析出相尺寸明显大于铝合金中析出相的尺寸.

2. SiC<sub>w</sub>/Al 的基体中位错密度很高, 但析出相并不沿位错析出. 相反, 位错吸收空位, 使基体中空位浓度降低, 导致复合材料中析出相的形核受到抑制. 析出相的数量明显低于铝合金中析出相的数量.

## 参 考 文 献

- 1 G. J. Mahon, J. M. Howe, A. K. Uasudevan, *Acta Metall.*, **38** (8), 1503 (1990)
- 2 I. Dutta, D. LBourell, *Acta Metall.*, **38** (11), 2041 (1990)
- 3 G. A. Edwards, G. L. Dunlop, M. J. Couper, *The 4th Internation Conference on Aluminum Alloys* (Atlanta, Georgia USA, 1994) p. 620
- 4 J. M. Papazian, *Metall. Trans.*, **19A** (12), 2945 (1988)