

T6 热处理对于 SiCp/2009Al 材料微观组织及性能的影响

黄申¹, 徐颖¹, 王学民²

(1. 南京航空航天大学 能源与动力学院, 江苏 南京 210016;
2. 中国航发四川燃气涡轮研究院, 四川 成都 610500)

摘要:采用扫描电子显微镜、能谱分析仪以及万能电子拉伸试验机等观察并研究 T6 热处理对 17vol%SiCp/2009Al 复合材料微观组织结构及静力学性能的影响。结果表明:T6 热处理工艺会使 Cu 元素等在铝合金基体中分布更加均匀。T6 热处理之后复合材料的弹性模量基本不变,屈服强度提高了 51.67%,抗拉强度提高了 75.93%,延伸率下降了 54.19%。

关键词:T6 热处理;颗粒增强铝基复合材料;微观组织结构;力学性能

中图分类号:TB331;TG113 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-5276(2022)03-0013-03

Effect of T6 Heat Treatment on Microstructure and Statics Properties of SiCp/2009Al Composites

HUANG Shen¹, XU Ying¹, WANG Xuemin²

(1. College of Energy and Power, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China;
2. AEEC Sichuan Gas Turbine Establishment, Chengdu 610500, China)

Abstract: The effect of T6 heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 17vol%SiCp/2009Al composites was observed and studied by means of scanning electron microscopy, energy spectrum analyzer and universal electronic tensile tester. The results show that the T6 heat treatment process enables the elements like Cu to become more uniformly distributed in the aluminum alloy matrix. After T6 heat treatment, the elastic modulus of the composite material remains basically unchanged with the yield strength of the composite material being increased by 51.67%, the tensile strength by 75.93% and the elongation being decreased by 54.19%.

Keywords: T6 heat treatment; particle reinforced aluminum matrix composites; microstructure; mechanical properties

0 引言

碳化硅颗粒增强铝基复合材料力学性能非常优异,具有比强度高、比刚度、热膨胀系数好、二次加工性等优点,主要应用于航空航天领域、军事领域、汽车工业以及运动器械,应用范围广泛,具有很好的发展前景^[1]。其制备方法包括粉末冶金法、喷射沉积法、搅拌铸造法以及挤压铸造法等。粉末冶金法制备颗粒增强铝基复合材料通常的步骤为混料、成形、烧结。本文所用材料主要用于航空发动机上的风扇叶片导流叶片。

有研究显示,不同热处理工艺后的碳化硅颗粒增强铝基复合材料力学性能有显著差异。由于碳化硅颗粒和铝合金基体之间的热膨胀系数差异较大,当复合材料进行热处理工艺之后,颗粒与基体的界面附近会产生较大的热残余应力场,会影响到复合材料的组织结构以及力学性能^[2-3]。通常认为,热处理会引起复合材料显微组织变化,包括 SiC 颗粒在基体中的分布以及颗粒/基体界面的结合等,进而会影响材料的力学性能。专门的热处理技术会使得复合材料获得最佳的力学性能,所以为了使材料性

能更加优异,关于热处理工艺对于材料结构和性能影响的研究有非常重要的工程意义。

本文以未经热处理和经过 T6 热处理的碳化硅颗粒增强铝基复合材料为研究对象,开展颗粒大小、元素成分及分布的检测以及静态力学性能的测试,以此为基础深入分析 T6 热处理对于碳化硅颗粒增强铝基复合材料力学性能的影响机理。

1 试验材料及方法

本次实验所用的复合材料为碳化硅颗粒增强铝基复合材料,增强相为 17%体积分数的 SiC 颗粒,基体为 2009 铝合金。其中 2009 铝合金的主要质量分数如表 1 所示。

表 1 2009 铝合金的质量分数 单位:%

Cu	Mg	Si	Fe	Zn	O	Al
4.06	1.20	0.25	0.20	0.10	0.60	余量

试验对比的两种材料前几步制备工艺完全相同,仅在最后一步是否经过 T6 热处理有区别。两种材料均采用粉

基金项目:国家自然科学基金重大研究计划培育项目(91860111)

第一作者简介:黄申(1995—),男,江苏徐州人,硕士硕士生,研究方向为先进复合材料的强度与疲劳。

未冶金的方法制备,经过挤压成型,经过 T6 热处理工艺(500°固溶处理、淬火、170°人工时效)制备而成。

首先利用 TESCAN MAIA3 扫描电子显微镜观察试样的微观结构组织观察碳化硅颗粒的形状、大小及分布等特征;之后利用 EDS 能谱分析仪对 SEM 同一视场材料微区的元素成分进行检测分析;然后在 Instron 万能电子拉伸试验机上进行复合材料的单轴拉伸实验,测试复合材料的力学性能,包括抗拉强度、屈服强度以及弹性模量等,并记录试件拉伸过程中的应力-应变数据。

2 结果与讨论

2.1 热处理对于材料微观组织结构的影响

图 1 为未热处理试样和 T6 热处理试样在 5K(5000)倍的放大倍数下的 SEM 照片,图 2 为两种试样在 10K(10000)倍的放大倍数下的 SEM 照片。由图可知:两种试样中的 SiC 颗粒形状都很不规则并存在一定的颗粒团聚现象,且两种试样中 SiC 颗粒的粒径大小都不是非常均匀。

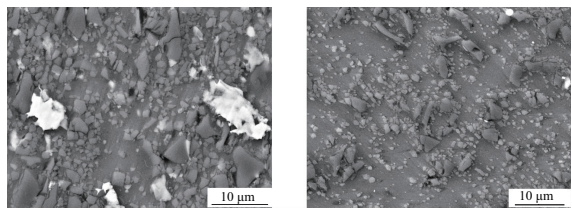
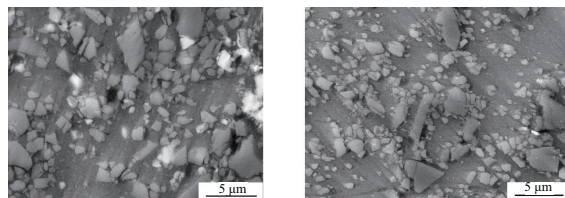


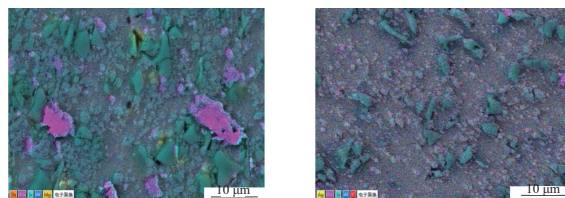
图 1 5K 倍下的 SEM 照片



(a) 未热处理试样 (b) T6 热处理试样

图 2 10K 倍下的 SEM 照片

图 3 为未热处理试样和 T6 热处理试样的 EDS 面分析对比图;图 4 和图 5 分别为未热处理试样和 T6 热处理试样的元素分布图。结合 SEM 照片以及 EDS 分析结果可以看出,未热处理试样中明亮的白色部分主要成分为 Cu 元素、Ni 元素及 Fe 元素等形成的块状化合物,而经过 T6 热处理的试样中 Cu 元素则较为均匀地分散在铝合金基体中。根据相关文献[4]分析,很有可能是在热处理过程中,固溶处理后 Al₂Cu 和 Mg₂Si 溶解,Cu 元素在基体中均匀分布。还有可能是 SiC 颗粒与铝合金基体之间发生界面反应,形成析出物,析出物的出现是 T6 热处理之后微观组织结构改变的主要原因[5]。



(a) 未热处理试样 (b) T6 热处理试样

图 3 未热处理试样的 EDS 面扫描分析结果

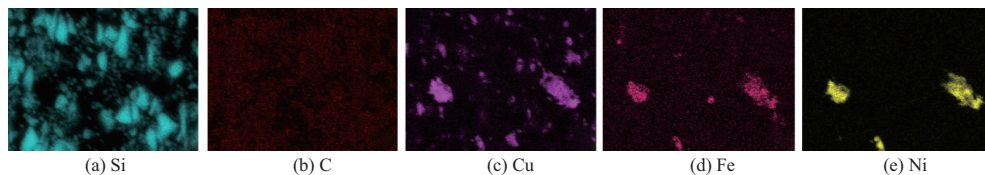


图 4 未热处理试样的 EDS 元素分析结果

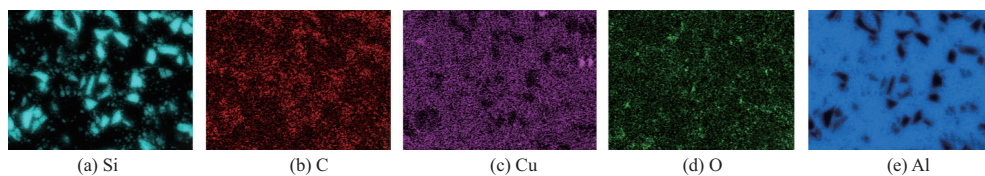


图 5 T6 热处理试样的 EDS 元素分析结果

2.2 热处理对于材料静力学性能的影响

将两种试样分别用 Instron 电子拉力试验机进行单轴拉伸试验,两种材料的拉伸试验件采用相同的尺寸,标距为 50 mm,尺寸图及实物图如图 6 和图 7 所示。

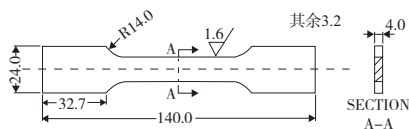


图 6 拉伸试样的尺寸图



图 7 拉伸试样的实物图

将未经热处理材料和 T6 热处理材料的试验件都分别在 1×10⁻³/s、2×10⁻³/s 和 4×10⁻³/s 3 种不同的应变加载速率下进行单轴拉伸试验。

选取未热处理试样和 T6 热处理试样各 9 件,每个应

变速率下试验件各 3 件,将每个应变速率下试验件的应力-应变取平均值得到名义应力-应变曲线。图 8 为未热处理试样在 3 种应变速率下的名义应力-应变曲线;图 9 为 T6 热处理试样在 3 种应变速率下的应力-应变曲线;图 10 为两种材料各 9 件试验件拉伸过程中名义应力-应变的取平均值后得到的对比图。

两种材料经过单轴拉伸试验后得到的力学性能参数的对比如表 2 所示。

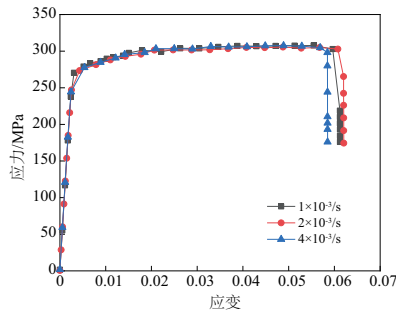


图 8 未热处理试样的应力-应变曲线

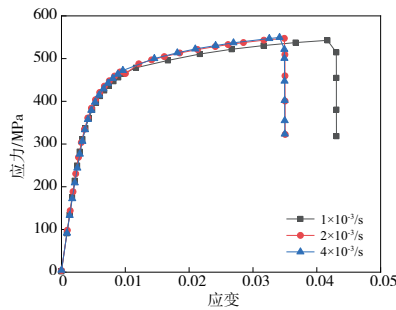


图 9 T6 热处理试样的应力-应变曲线

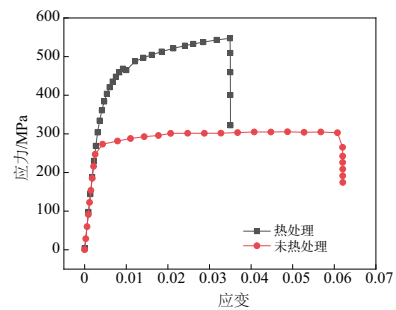


图 10 未热处理试样和 T6 热处理试样应力-应变曲线对比

表 2 SiCp/Al 复合材料力学性能对比

力学性能	热处理试样	T6 热处理试样
屈服强度/MPa	276.4	419.2
拉伸强度/MPa	307.8	541.5
弹性模量/GPa	104.2	103.8
延伸率/%	7.2	3.3

通过对比分析两种材料的应力-应变曲线图和力学性能参数可以看出:T6 热处理前后材料的弹性模量基本

没有变化,因为弹性模量是一个对热处理和组织变化很不敏感的量。但经过 T6 热处理后,材料屈服强度提高了 51.66%,抗拉强度提高了 75.93%,延伸率下降了 54.17%,表明材料强度和刚度的增加是以牺牲材料的延展性为代价的。总体来说,T6 热处理工艺对于碳化硅颗粒增强铝基复合材料静力学性能的提高是非常显著的,但复合材料的延展性有所下降^[6-7]。

结合之前的微观组织结构以及力学性能的对比如分析,可以看出:经过 T6 热处理,材料力学性能提高的主要原因在于微观组织结构的改变。T6 热处理之后,复合材料中的碳化硅颗粒得到一定程度的细化并且在铝合金基体中分布更加均匀,使得材料的静态力学性能得到较大提高,主要体现在屈服强度和抗拉强度的提高。另外,热处理可能会导致基体中产生位错,位错的存在改变了复合材料的微观组织结构,从而影响了复合材料的力学性能^[3]。另外一个可能的原因是复合材料的组织中会产生析出相,弥散分布于基体中。析出相在界面区域积累,起到沉淀强化的作用,导致复合材料的硬化,从而提高了材料力学性能。

3 结语

本文对 T6 热处理对于 17%SiCp/2009Al 材料的静力学性能和微观组织结构的影响进行了研究,得到以下结论。

1) 经过 T6 热处理,17% SiCp/2009Al 复合材料中的 Cu 元素在基体中分布更加均匀,并且 T6 热处理试样中 Cu 元素、Fe 元素与 Ni 元素等形成聚集成块状化合物的现象相较于未热处理试样更少。

2) T6 热处理对于 17% SiCp/2009Al 复合材料静力学性能的提升比较明显,经过热处理之后材料的屈服强度提高了 51.66%,抗拉强度提高了 75.93%,但材料的弹性模量基本不变且延伸率下降了 54.17%。材料经过 T6 热处理后,微观组织结构发生变化,影响了材料的力学性能。

参考文献:

- [1] 崔岩. 碳化硅颗粒增强铝基复合材料的航空航天应用[J]. 材料工程,2002,30(6):3-6.
- [2] 柳培,王爱琴,郝世明,等. 热处理过程中 SiCp/2024Al 基复合材料的微观组织演变[J]. 材料热处理学报,2015,36(3):8-14.
- [3] NIE J H, FAN J Z, ZHANG S M, et al. Tensile and fracture properties of 15 vol% SiC_p/2009Al composites fabricated by hot isostatic pressing and hot extrusion processes [J]. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 2014,27(5):875-884.
- [4] 张琪,王全兆,肖伯律,等. 粉末冶金制备 SiC_p/2009Al 复合材料的相组成和元素分布[J]. 金属学报,2012,48(2):135-141.
- [5] 岑晓倩. 热处理对 SiC 颗粒增强铝基复合材料组织及力学性能的影响[J]. 铸造技术,2017,38(5):1051-1053.
- [6] ALDUN D, MARTIN P, SUN J. Effects of heat treatment on the mechanical properties of SiCp/6061 Al composite[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 1992,1(5):615-624.
- [7] 樊建中,肖伯律,左涛,等. 热处理对 SiC_p/Al 复合材料强度和塑性的影响[J]. 中国有色金属学报,2006,16(2):228-234.

收稿日期:2021-02-25