

(G_r + SiC_p) / Mg的热膨胀性能

王宁 宋美慧 张贵一 武高辉

(哈尔滨工业大学金属基复合材料工程技术研究所, 哈尔滨 150001)

文 摘 采用挤压铸造技术制备了石墨纤维织物与 SiC 颗粒混杂增强镁基复合材料, 研究了其微观组织与热膨胀性能。结果表明, 复合材料的线胀系数随温度升高而降低, 经退火后复合材料在 20 ~ 100 的平均线胀系数约为 $3 \times 10^{-6} / K$ 。纤维二维正交排布条件下复合材料热膨胀性能的各向异性特征得到有效改善。

关键词 石墨纤维织物, 混杂增强, 镁基复合材料, 热膨胀性能

Thermal Expansion Properties of (G_r + SiC_p) / Mg Composites

Wang Ning Song Meihui Zhang Guiyi Wu Gaohui

(Center for Metal Matrix Composites Engineering Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001)

Abstract Two dimensional graphite fiber fabric and SiC particle hybrid reinforced magnesium (G_r + SiC_p) / Mg composites are fabricated by squeeze casting technique. Microstructure and thermal expansion properties are studied. The results show that the coefficient of thermal expansions (CTEs) of composites decrease with testing temperature increasing. The CTE from 20 to 100 is about $3 \times 10^{-6} / K$. The CTEs of composites decrease after annealing treatment. The thermal expansion properties' anisotropy of composites reinforced with two dimensional orthogonal fibers is improved effectively.

Key words Graphite fiber fabric, Hybrid reinforcement, Magnesium matrix composites, Thermal expansion property

1 前言

石墨纤维增强镁基复合材料具有优异性能, 其比强度、比模量都远大于其他复合材料, 并且它的线胀系数很低^[1], 在较大温度范围内具有很好的尺寸稳定性^[2], 既能克服基体镁合金弹性模量低、蠕变性能差的缺点, 又能保持镁合金密度低、比强度高的优点^[3]。因此, 该材料在航空航天领域中具有巨大的应用潜能, 是高精度机载或卫星天线, 以及精密导航光学测量系统的构件或支架最理想的候选材料之一^[4]。单向纤维增强镁基复合材料具有明显的各向异性特征, 其应用方面有较大限制, 但可以对材料进行力学和热物理性能设计。为发挥材料的最佳热物理性能, 需要研究不同纤维排布方向对热膨胀行为的影响。目前对石墨纤维织物增强金属基复合材料的研究比较少。本文采用挤压铸造技术制备出二维正交平纹 M40 纤维布与 SiC 颗粒混杂增强 ZM6 复合材料, 对其热膨胀性能进行了研究。

2 实验

2.1 材料

基体合金为 ZM6 镁合金, 成分见表 1。

表 1 ZM6 合金化学成分

Tab 1 Chemical composition of ZM6 alloy % (质量分数)

| RE | Zn | Zr | Mg | Ni | Cu | Be | 杂质总量 |
|---------|---------|---------|----|------|------|-------|------|
| 2.0~2.8 | 0.2~0.7 | 0.4~1.0 | 余量 | 0.01 | 0.10 | 0.002 | 0.30 |

采用挤压铸造技术制备出石墨纤维织物与 SiC 颗粒混杂增强镁基复合材料, 密度为 1.82 g/cm^3 。增强体为正交平纹 M40 纤维布, 其每束纤维含有 6 000 根单丝。复合材料中纤维体积分数约为 55%, SiC 颗粒的体积分数约为 5%。复合材料分为原始铸造和去应力退火两种状态。

2.2 方法

复合材料退火处理工艺为 285 保温 3 h 后炉冷。用 S-570 和 S-4700 扫描电子显微镜观察增强体和复合材料的微观形貌。用 DL 402 型热膨胀分

收稿日期: 2007 - 04 - 24; 修回日期: 2007 - 06 - 11

作者简介: 王宁, 1981 年出生, 硕士, 主要从事金属基复合材料的研究工作

析仪测复合材料的线胀系数 (- 10 ~ 490)。图 1 为纤维铺层与测试方向示意图。

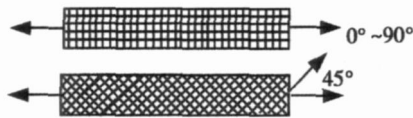


图 1 纤维铺层与测试方向示意图

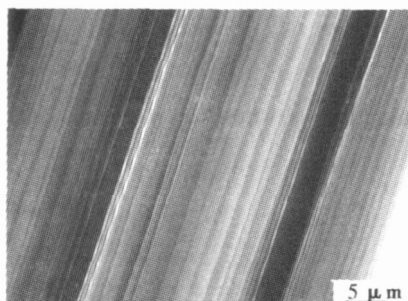
Fig 1 Diagram of fiber fabric and test direction

3 结果与讨论

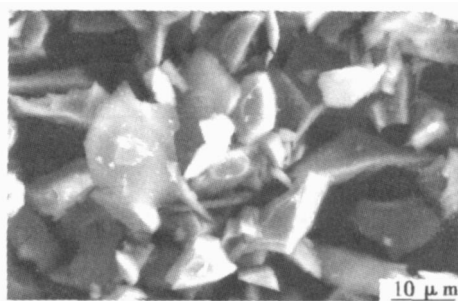
3.1 微观组织

3.1.1 增强体微观组织

图 2 为增强体的原始形貌。从图 2 (a) 可以看出,纤维原丝的直径约为 $5\mu\text{m}$,表面存在着大量与轴向基本平行的小条带,这种结构被称为湍流石墨片层结构^[5],是由于碳原子主要以六方网格条带形式排列而形成的。从图 2 (b) 可以看出, SiC 颗粒多为带有尖角的不规则几何形状,其中既有较大颗粒也有较小颗粒。由于增强体的线胀系数都比基体合金的小,增强体的加入会使复合材料的线胀系数有所降低。



(a) M40 纤维



(b) SiC 颗粒

图 2 增强体的微观组织

Fig 2 Microstructures of reinforcements

3.1.2 复合材料微观组织

图 3 为 M40 纤维布与 SiC 颗粒混杂增强 ZM6 复合材料的微观组织。可以看出,复合材料组织致密,基体与增强体之间结合良好,无明显的空洞、裂纹等缺陷。SiC 颗粒主要成带状分布,部分颗粒渗入到纤维束内部。纤维布铺层平整,无褶皱,纤维束没有折

断现象。并且复合材料在经向和纬向上组织具有对称性,这种对称的组织可以改善单向材料各向异性的不足。



(a) 垂直纤维布 100 × (b) 平行纤维布 50 ×

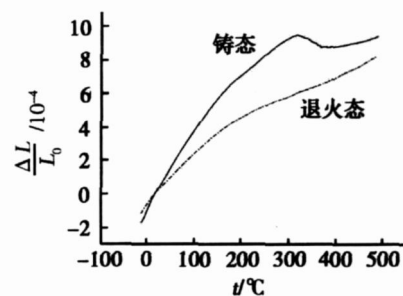
图 3 M40 纤维布 + SiC_p / ZM6 微观组织

Fig 3 Microstructure of M40 fiber fabric + SiC_p / ZM6

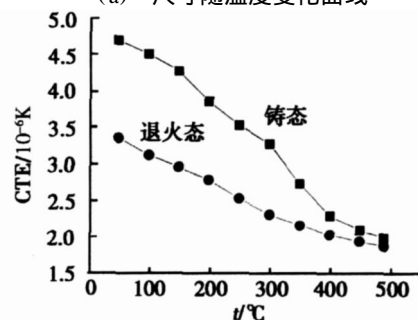
3.2 复合材料热胀性能

3.2.1 热处理的影响

图 4 为复合材料 0 或 90 方向上尺寸随温度变化的原始曲线以及平均线胀系数随着温度变化的曲线,其中 L/L_0 表示试样尺寸的相对变化量。可以看出,退火处理降低了复合材料的线胀系数。在 20 ~ 100 °C,铸态复合材料的平均线胀系数为 $4.5 \times 10^{-6} / \text{K}$,经过退火处理,复合材料的平均线胀系数降低为 $3.1 \times 10^{-6} / \text{K}$,降幅达到了 31.1%。可见,选择合适的热处理工艺对于降低复合材料的热胀系数也是一种行之有效的方法。



(a) 尺寸随温度变化曲线



(b) CTEs 随温度变化曲线

图 4 热处理对复合材料线胀系数的影响

Fig 4 Effect of heat treatment on CTEs of composites

根据 Eshelby 理论^[6],复合材料线胀系数可表示为:

宇航材料工艺 2007 年 第 5 期

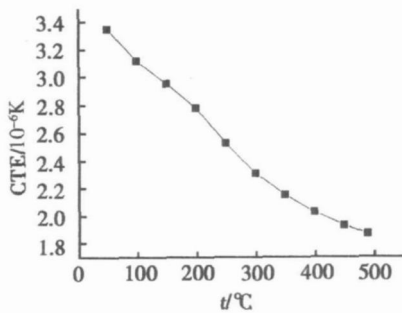
$$\alpha_c = \frac{L}{L_0 \cdot T} = \frac{\alpha_0 + \alpha_T}{C_m(S - I) \cdot T} + \alpha_m \quad (1)$$

式中, α_0 为室温时,基体中的残余应力, α_T 为温度升高时,基体中的平均应力值, α_m 为基体线胀系数, C_m 为刚度大小, S 为 Eshelby张量大小, I 为单位矩阵。

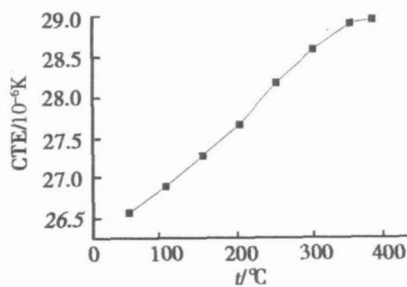
复合材料经挤压铸造技术制备而成,由于纤维和基体合金线胀系数不同,在冷却过程中会使基体合金中存在较大的残余拉应力。退火处理使 α_0 大大减小,进而使得复合材料的线胀系数降低。

3.2.2 温度的影响

图 5为不同材料线胀系数随测试温度变化的曲线,可以看出,复合材料 0 及 90 方向的平均线胀系数随温度的升高而降低,与镁合金的变化趋势相反。且复合材料的线胀系数比基体降低显著,在 20~100 的平均线胀系数约为 $3.1 \times 10^{-6}/K$,仅为基体的 1/9 左右。



(a) (M40 + SiC) / ZM6



(b) ZM6

图 5 不同材料线胀系数随测试温度变化的曲线

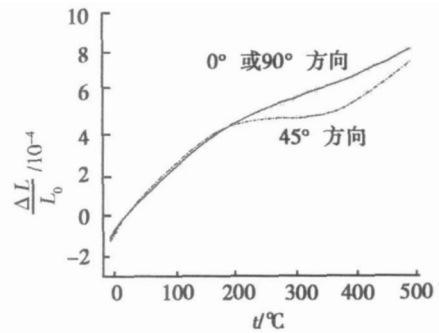
Fig 5 Effect of testing temperature on CTEs of different materials

复合材料的线胀系数由增强体、基体及纤维和基体之间的相互作用决定。石墨纤维纵向线胀系数为 $-1.4 \times 10^{-6}/K$ ^[7],即温度升高纤维收缩,而温度升高基体却会伸长,由此导致基体合金的 α_T 随温度升高而增加,因为 $\alpha_T < 0$,表现为复合材料的线胀系数随着温度的升高而降低,表现出与基体相反的趋势。

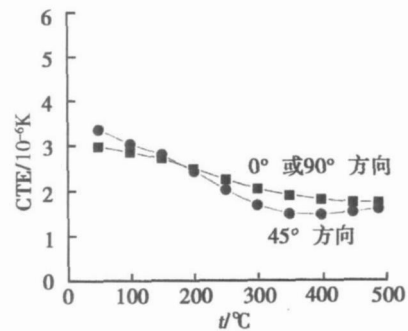
3.2.3 纤维铺设角度的影响

图 6为复合材料 0 或 90 与 45 方向的线胀系数随温度变化曲线。图 7为单向石墨纤维与 SiC 颗粒增强镁基复合材料的不同方向线胀系数曲线,图中 0 和 90 方向为实验测得数据,45 方向为计算所得

值^[5]。从图 6可以看出,复合材料 0°、90° 与 45° 的平均线胀系数差别较小 ($< 0.5 \times 10^{-6}/K$)。从图 7可以看出,单向纤维增强复合材料表现出明显的各向异性特征,0 和 90° 与 45° 的平均线胀系数的差别较大 ($> 7.1 \times 10^{-6}/K$),0 与 90° 的平均线胀系数的差别则更大 ($> 14.2 \times 10^{-6}/K$)。因此,织物增强复合材料的热膨胀性能有效地改善了单向纤维增强镁基复合材料各向异性的缺点。



(a) 尺寸随温度变化曲线



(b) CTEs随温度变化曲线

图 6 0°、45° 和 90° 方向复合材料的线胀系数随温度变化曲线

Fig 6 CTEs of composites in 0° or 90° direction and 45° direction

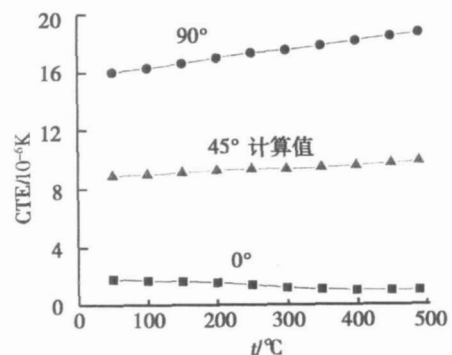


图 7 单向纤维强镁基复合材料的各向异性特征

Fig 7 Anisotropy of single directional fiber reinforced magnesium matrix composites

纤维增强金属基复合材料的低线胀系数是由于纤维在变形过程中对基体变形的强烈约束所致,因

此,纤维对基体的约束能力、基体的变形能力都对复合材料的线胀系数影响很大。对石墨纤维增强复合材料,其纵、横向线胀系数相差数倍,这是由于石墨纤维线本身的各向异性所致。而采用石墨纤维织物增强金属基复合材料,由于纵向与横向纤维之间的相互作用,复合材料的线胀系数的各向异性特征大大减小,优化设计纤维角度,甚至可以达到在二维平面接近各向同性。

4 结论

(1)石墨纤维织物与 SiC 颗粒混杂增强镁基复合材料具有低的线胀系数。在 20~100℃,铸态复合材料的平均线胀系数为 $4.5 \times 10^{-6}/K$,285℃退火处理可以降低其线胀系数,达到 $3.1 \times 10^{-6}/K$,降幅为 31.1%。线胀系数随温度的升高而降低,与基体合金相反。

(2)纤维织物的加入可以有效地改善复合材料的各向异性,使其在 0 或 90° 与 45° 的平均线胀系数偏差小于 $0.5 \times 10^{-6}/K$,远小于单向纤维复合材料 0 和 90° 与 45° 的平均线胀系数的差别 ($>7.1 \times 10^{-6}/K$)。

参考文献

- 1 陈美怡,秦富生,李自德等. Gr(C)纤维增强镁基复合材料的界面结构. 特种铸造及有色合金,1996;(4):1~4
- 2 陈美怡,秦富生,李自德等. Gr(C)纤维增强镁基复合材料纤维分布均匀性及其改善途径. 铸造,1996:1~5
- 3 李刚,严彪,黄剑. 高硬度镁基复合材料及其制备. 上海研钢,2004;(3):37~40
- 4 王鸿华,李贤淦,费铸铭. 石墨纤维增强镁基复合材料的线膨胀性能研究. 宇航材料工艺,1995;25(1):41~44
- 5 张国定,赵昌正. 金属基复合材料. 上海:上海交通大学出版社,1996:22~24
- 6 Hiroshi Hatta, Takako Takei, Minoru Taya. Effect of dispersed microvoids on the thermal expansion behavior of composite materials. Mat Sci and Eng A, 2000; 285: 99~110
- 7 Russell-Stevens M, Todd R, Papakyriacou M. Microstructural analysis of a carbon fiber reinforced AZ91D magnesium alloy composite. Surf Interface Anal, 2005; 37: 336~342
- 8 曾竟成,罗青,唐羽章. 复合材料理化性能. 长沙:国防科技大学出版社,1998:44~53

(编辑 吴坚)

反映材料动态 评述科技进步 分析技改方法 探讨产业途径
开阔科学视野 提高技术素质 激发创新意识 推动产研进步

欢迎订阅 2008年《材料导报》(月刊)

综述性、动态性导向期刊 - - 报道材料科技研究新动向与产业改造新方法

刊号:ISSN 1005-023X CN50-1078/TB 广告经营许可证:渝工商广许可号 020530号

材料导报:由科学技术部高新技术发展及产业化司、国防科工委科技与质量司指导,科技部西南信息中心主办。1987年9月创刊,国内外公开发行。本刊信息量大,覆盖面广,是中国科技论文源统计期刊,中国科学引文数据库来源期刊,CNKI期刊全文数据库收录期刊。

办刊宗旨:反映材料科技发展动态和国家宏观政策;跟踪原创性国内外科研新动向;评述材料研究进展及产业化进程;报道新材料和新技术的使用;探讨传统材料产业改造中的问题;跟踪WTO对中国材料产业的影响;展示国家相关材料计划实施及研究开发新成果;促进高新技术新材料的发展及产业化;为我国材料科技起引导作用。

所设栏目:材料科技发展综述;新材料新技术介绍;材料产业论坛;材料研究论文;国际动态及快讯;博士论文摘要等。

读者对象:从事材料规划、决策的各级领导和管理人员,从事材料研究开发的科研工作者,有关大专院校师生,从事材料生产、应用和经营的工矿企业、公司的技术人员与领导等。

《材料导报》每月15日出版,每期约30万字,定价:12.00元/册。

邮发代号:78-93在当地邮局即可订阅或直接到本编辑部补订

通讯地址:重庆市渝北区洪湖西路18号材料导报社 邮编:401121

电话/传真:023-63505701 E-mail:mat-rev@126.com mat-rev@163.com Web:www.mat-rev.com

开户银行:重庆市商业银行七星岗支行

户名:重庆天旭科技信息有限公司(材料)帐号:150101040006888

欢迎订阅、投稿和刊登广告