

# 碳纤维不同分布的碳纤维-铜复合材料的电导率

凤 仪 应美芳 王成福

(合肥工业大学材料系, 合肥 230009)

**摘 要** 将碳纤维按不同方式分布与铜粉混合热压, 制取复合材料, 测定了碳纤维含量与分布方式对复合材料电导率的影响。给出了测定结果, 为复合材料的结构设计提供了一定的依据。

**关键词** 碳纤维-铜复合材料, 碳纤维分布方式, 电导率

**中图分类号** TB 331

碳纤维-铜复合材料由于综合了铜的良好导电、导热性, 碳纤维低的热膨胀系数, 良好的润滑性, 从而应用于滑动材料、功率半导体支撑电极材料、集成电路散热板等方面<sup>[1, 2]</sup>。

用作功能材料的碳纤维-铜复合材料, 其电导率是一项重要的物理性能指标。这类复合材料的电导率主要取决于组成中的碳纤维含量与排布方式, 由于碳纤维本身物理性能的显著各向异性, 因此研究碳纤维排布方式对复合材料电导率的影响具有重要的理论和实际意义。

目前国内外对碳纤维-铜复合材料进行了一定的研究, 但研究重点仍在复合材料的制造工艺及力学性能、摩擦磨损性能等方面<sup>[3, 4]</sup>, 对该复合材料的物理性能, 特别是纤维排布方式的变化对复合材料物理性能的影响, 还缺乏系统研究。本文中选择了几种典型的纤维排布方式(短纤维无序分布、长纤维单向分布、长纤维双向正交分布、长纤维涡卷状分布)制造复合材料, 测定了碳纤维含量、分布方式对复合材料电导率的影响。

## 1 复合材料制备和试验方法

试验所用纤维为吉林炭素厂生产, 每束含单丝3000根, 每根单丝直径 $7\mu\text{m}$ , 密度为 $1.70\text{g}/\text{cm}^3$ , 电导率为 $4.2\text{MS}/\text{m}$ ; 铜粉为上海第二冶炼厂生产的400目纯铜粉, 密度为 $8.9\text{g}/\text{cm}^3$ , 电导率为 $57.2\text{MS}/\text{m}$ 。为增强纤维与基体的界面结合, 采用连续电沉积法在碳纤维表面均匀涂覆上一层厚约为 $1\mu\text{m}$ 的铜层, 将纤维按图1所示的4种方式均匀分布在基体中, 其中短纤维长度约为 $2\text{mm}$ 。然后在氢保护气氛中采用热压法制取复合材料, 压制压力为 $5\text{MPa}$ , 烧结温度为 $700 \pm 10^\circ\text{C}$ , 保温时间为 $30\text{min}$ , 压制方向如图1中Z方向。

复合材料显微组织用S-570扫描电子显微镜观察。

复合材料密度根据阿基米德原理, 采用分度值为 $0.1\text{mg}$ 的TG328B分析天平测定。

复合材料电导率根据GB 5586—85, 采用QJ36型直流双臂电桥法测定, 测量方向垂直于热压方向, 测量精度为0.02级。

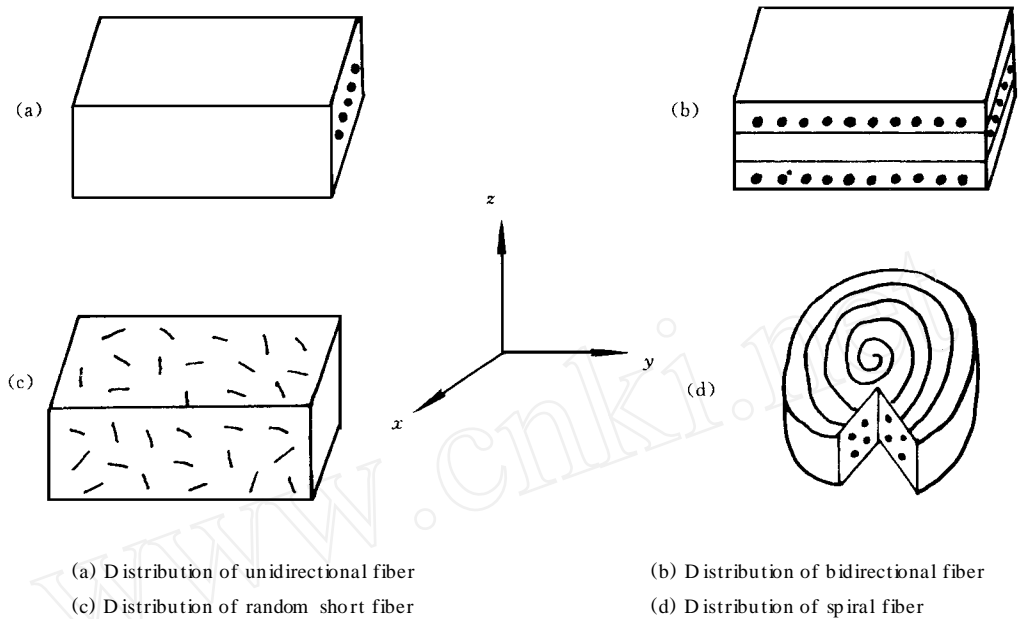
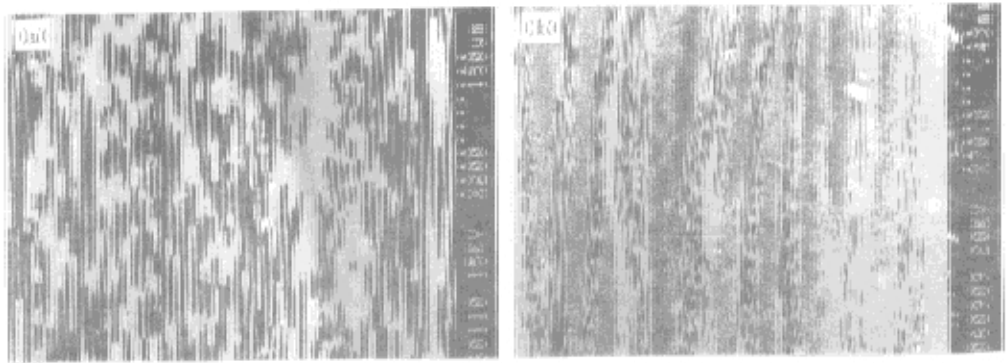


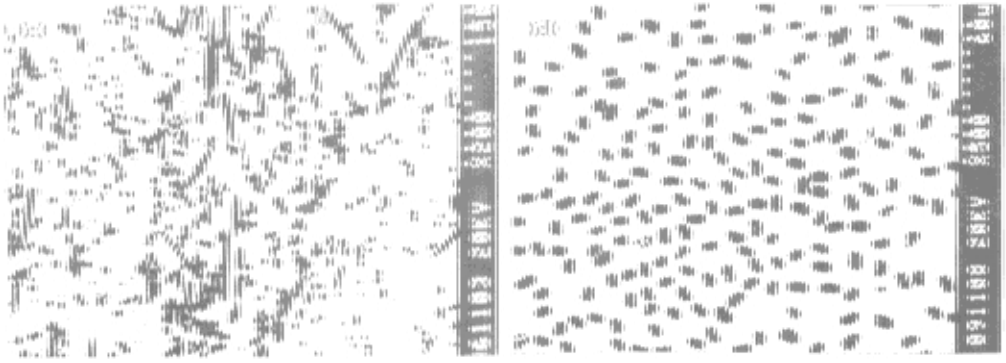
图1 碳纤维在基体中的分布方式

Fig 1 Distribution of fiber in matrix



(a) Figure (SEM) of unidirectional composite (transversal)

(b) Figure (SEM) of bidirectional composite



(c) Figure (SEM) of short fiber composite

(d) Figure (SEM) spiral composite (transversal)

图2 碳纤维-铜复合材料的显微组织 ( $V_f = 35\%$ )

Fig 2 Figure (SEM) of CF-Cu composite ( $V_f = 35\%$ )

2 实验结果和分析

2 1 复合材料显微组织和密度

图2为纤维呈不同分布方式的碳纤维-铜复合材料的显微组织。可见,不论纤维呈何种方式分布,纤维在基体中都分布均匀,没有聚集缠绕在一起的现象,且基体致密,无明显孔洞。

热压法实质是一种扩散焊合法,在一定温度、压力下原子通过扩散形成结合。高模量纤维经压制后在压坯中发生变形,存在弹性残余应力,在烧结过程中,通过加热应力松弛,纤维回弹,引起密度下降。但在热压过程中,由于加压烧结,纤维失去回弹能力,不出现上述过程。因此与普通粉末冶金法相比,可减少孔洞,提高密度。表1为纤维不同分布的复合材料密度的实测值与理论值的比较,从表中可见纤维排布方式对复合材料密度影响不大,复合材料密度的实测值接近于理论值的97%,这表明在此热压工艺条件下,铜基体能充分扩散结合,纤维的回弹作用受到抑制。

表1 碳纤维分布方式对复合材料密度的影响 ( $V_f=35\%$ )

Table 1 Density of composites with different distributions of fibers ( $V_f=35\%$ )

纤维分布方式		单向分布	双向正交分布	涡卷状分布	短纤维无序分布
密度/ $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$	实测值	6.17	6.13	6.14	6.11
	理论值	6.38	6.38	6.38	6.38
实测值/理论值		96.7%	96.1%	96.2%	95.8%

2 2 纤维分布方式对复合材料电导率的影响

图3为纤维呈单向分布的复合材料纵向、横向电导率随温度变化情况,从图中可见,复合材料纵向、横向电导率相差数倍,这主要是因为碳纤维的电导率存在强烈各向异性所致<sup>[5]</sup>。从图中还可看出,由于铜、碳纤维的电导率在-40~120℃温度范围内变化不显著<sup>[5,6]</sup>,故随温度变化,复合材料电导率变化不大。

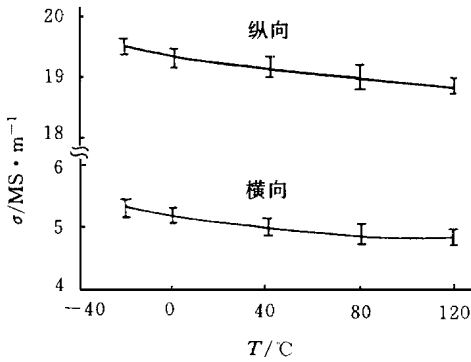


图3 单向复合材料纵向、横向电导率与温度的关系 ( $V_f=35\%$ )

Fig 3 Longitudinal and transversal electrical conductivity of unidirectional composite vs temperature ( $V_f=35\%$ )

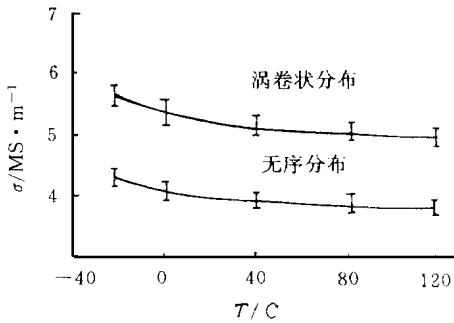


图4 涡卷状、短纤维无序分布复合材料电导率与温度关系 ( $V_f=35\%$ )

Fig 4 Electrical conductivity of spiral and short fiber composite vs temperature ( $V_f=35\%$ )

对双向正交复合材料可看成单向复合材料纵向、横向层合板并联<sup>[7]</sup>。假设单向复合材料纵向、横向电导率分别为  $\sigma$ 、 $\sigma$ ,则双向正交复合材料电导率为

$$\sigma_{\text{双向}} = 1/2(\sigma + \sigma)$$

当温度为40 时,从图3中可知,  $\sigma = 19.36 \text{ MS/m}$ ,  $\sigma = 5.1 \text{ MS/m}$ , 则

$$\sigma_{\text{双向}} = 1/2(19.36 + 5.1) = 12.23 \text{ MS/m}$$

可见与实测值(图5)吻合较好。

对电导率而言, 涡卷状复合材料的排列方式与单向复合材料横向排列类似, 故二者电导率也相差不大, 如图3、图4所示。

在短碳纤维-铜复合材料中, 一方面由于短纤维对基体连续性的割裂影响较大, 另一方面由于短纤维存在较多端头, 导致界面增多, 且短纤维端头处未能镀覆铜层, 与基体不能很好结合, 出现微孔<sup>[8]</sup>, 从而导致短碳纤维-铜复合材料电导率比其它排布方式的复合材料电导率低。

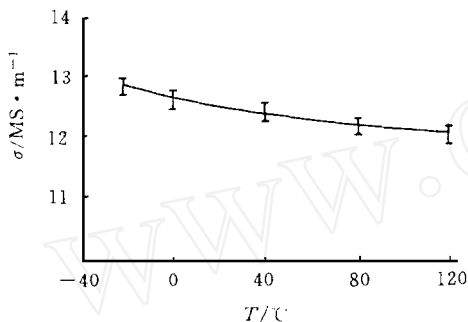
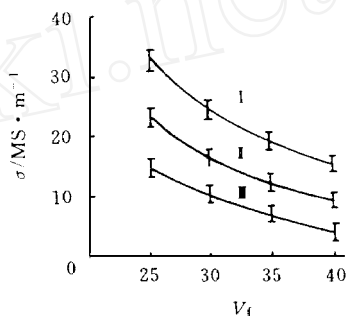


图5 双向正交复合材料电导率与温度的关系 ( $V_f = 35\%$ )

Fig 5 Electrical conductivity of bidirectional composite vs temperature ( $V_f = 35\%$ )



(I: 单一纵向, II: 双向正交, III: 涡卷状)

图6 纤维含量对复合材料电导率的影响

Fig. 6 Electrical conductivity of composite vs volume of carbon fiber

### 2.3 纤维含量对复合材料电导率的影响

图6为碳纤维含量变化对复合材料电导率的影响, 从图中可见, 无论纤维呈何种方式分布, 随纤维含量增加, 复合材料电导率均线性降低。在碳纤维-铜复合材料中, 铜依靠自由电子导电, 碳纤维依靠 $\pi$ 电子导电, 由于自由电子的导电能力比 $\pi$ 电子大得多, 故随纤维含量增加, 一方面复合材料中自由电子数目减少,  $\pi$ 电子增多, 复合材料电导率下降; 另一方面复合材料中几何界面增多, 对自由电子的散射加剧, 也导致复合材料导电能力下降。故随碳纤维体积分量的增加, 复合材料电导率线性下降。

## 3 结 论

由于碳纤维本身结构上的取向性, 在电导率上表现为明显的各向异性, 改变碳纤维的分布方式对复合材料电导率影响很大。实验结果为:  $\sigma_{\text{单一纵向}} > \sigma_{\text{双向正交}} > \sigma_{\text{涡卷}} > \sigma_{\text{单一横向}} > \sigma_{\text{无序短纤维}}$ 。无论纤维呈何种方式分布, 随纤维含量增加, 复合材料电导率均线性下降。

## 参 考 文 献

- 1 肯尼思·G·克雷德 金属基复合材料 北京: 国防工业出版社, 1974
- 2 荻川英夫 日本复合材料学会志, 1984, 10(4): 152
- 3 Chou T W. Composite, 1985, 16(3): 137
- 4 郭芝俊, 运连仲 摩擦学学报, 1992, 12(2): 153
- 5 高桥洋一, 山下安正 新型碳材料, 1987, 3(2): 67
- 6 马庆芳, 方荣生, 项立成 实用物理性质手册 北京: 中国农业机械出版社, 1986

- 7 KEHCHI KUN IYA. IEEE TRANSACTIONS ON COMPONENTS, HYBRIDS AND MANUFACTURING TECHNOLOGY, 1983, 6(4): 467
- 8 凤 仪, 应美芳, 王成福 金属学报, 1994, 30(9):B432

## RELATION BETWEEN ELECTRICAL CONDUCTIVITY OF CF/Cu COMPOSITES AND DISTRIBUTION OF FIBERS

Feng Yi Ying Meifang Wang Chengfu  
(Hefei University of Technology, Hefei 230009)

**Abstract** Electrical conductivity of the CF/Cu composites with different modes of CF orientation and distribution, prepared by hot pressing, was examined to be in order: unidirectional longitudinal > bidirectional > spiral > unidirectional transversal > random short fibers. The electrical conductivity of the CF/Cu composites decreases with the increase of the volume of carbon fiber.

**Key words** CF/Cu composites, distribution mode, electrical conductivity

(上接第37页)

### 1.3 低成本复合材料技术的现状

#### (1) 复合材料结构的成本概要

图2示出与金属结构相比较复合材料价格动向的现状和将来预测。现状是复合材料结构的价格(\$350~500/lb)约为金属结构价格(\$150~300/lb)的2倍。据预测,到21世纪成本要降到\$100~250/lb。要实现这一预测,现在正在研究的各种低成本技术必须实用化,必须达到ACT计划所规定的降低25%成本的目标。

图3示出ACT计划中复合材料主翼的成本构成。

由图可见,材料成本约为20%,成型加工成本约为25%,装配加工成本约为40%,此外设计、夹具、计划等初期开发费的间接成本约为15%。为彻底降低目标设定的成本,必须实现所有构成因素的低成本。其中特别关键的是成型和装配加工工时的低成本化。

此外,从机体结构部位的成本构成看,主翼和机身占70%以上,低成本复合材料的最终目标也在于在主受力结构上的适用。

#### (2) 材料的低成本化

与一般民用材料相比,飞机用材料成本非常高。其主要理由在于,为确保飞机的安全可靠,对材料的性能、试验及质量要求都很严格。更进一步说,为结构设计中的设计许容值设定,需要进行大量试验。这些都返回到成本中。由于还没有像金属材料那样公共标准化,复合材料的现状都是根据各公司独自的规格进行材料认定试验和取得设计许容值的试验。

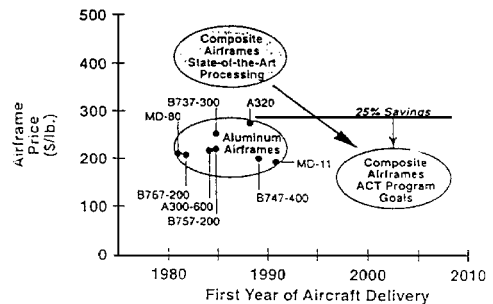


图2 机体结构的价格<sup>[3]</sup>

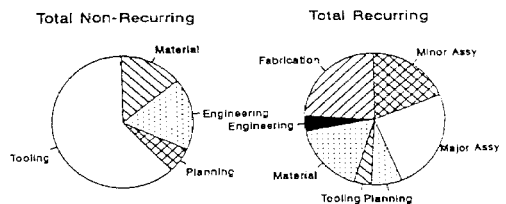


图3 复合材料主翼的成本<sup>[3]</sup>

(下转第52页)