

# 碳纤维/玻璃纤维混杂复合材料性能研究

赵士贵 裴建人 陈国文

(山东工业大学材料科学与工程学院, 济南 250061)

**摘要** 以玻璃纤维毡和玻璃纤维布为夹芯材料, 碳纤维为表层材料, 制备了混杂纤维增强复合材料, 测试了在不同碳纤维含量和不同碳纤维铺层方向时增强复合材料的纵向拉伸强度和冲击强度等力学性能。结果表明: 该混杂方式经济且有效。

**关键词** 碳纤维 玻璃纤维 混杂 复合材料 性能 增强材料

混杂纤维增强复合材料是指在同一基体中有两种或两种以上增强纤维的复合材料。通过改变组分、含量以及复合结构, 可以得到不同性能的复合材料。虽然碳纤维复合材料(CFRP)的拉伸弹性模量较高, 但其延伸率较低, 抗冲击性能和断裂韧性较差, 将碳纤维与玻璃纤维混杂使用, 可使二者的优势互补, 得到综合性能优异的复合材料。

纤维混杂结构主要有均匀混杂、层内混杂、层间混杂、夹芯结构和组合混杂结构等方式<sup>[1]</sup>。在 CF/GF 混杂复合材料中, 应用较多的是具有夹芯结构的混杂材料<sup>[2]</sup>。其表层为碳纤维或碳纤维与玻璃纤维织物。其芯层有二种形式: 一种为玻纤毡/玻纤织物/玻纤毡, 简称为 MR; 另一种只用玻纤毡, 简称为 M。笔者制备了可用于轮船、汽车结构件的以 MR 为夹心、单向碳纤维无纬布为表层的混杂纤维增强环氧树脂(EP)复合材料(CF/GF/EP), 讨论了碳纤维含量和铺层方式对纵向拉伸强度、拉伸弹性模量和冲击强度的影响。

## 1 实验部分

### 1.1 原材料

环氧树脂: 工业, 无锡树脂厂;

双氰胺: 化学纯, 上海试剂一厂;

平纹玻纤布: E 型、工业, 泰安玻璃纤维厂;

短切玻纤毡: E 型、工业, 泰安玻璃纤维厂;

碳纤维: ST-300, 工业, 山东工业大学碳纤维研究中心。

### 1.2 测试仪器

电液伺服实验机: Instron 8502, 德国 SCHENCK 公司;

冲击实验机: JB 30 G, 吴忠材料试验机厂。

### 1.3 试样制备

#### (1) 工艺路线

采用的混杂纤维增强复合材料的工艺流程如图

1 所示。

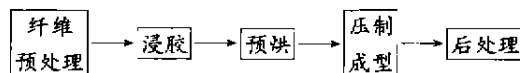


图1 混杂纤维增强复合材料制备工艺流程图

## (2) 制备工艺

对碳纤维和玻璃纤维进行预处理, 将环氧树脂溶于丙酮后, 加入双氰胺、固化促进剂。纤维浸渍环氧树脂胶液(纤维含量为 60%), 于 60~70℃ 预烘 60~90 min 以除去大部分挥发成分。模具预热至 90℃ 后涂脱模剂。将玻璃布(30%)和玻纤毡(70%)作为芯层, 碳纤维作为表层, 铺置于模具中热压成型。热压条件: 110~120℃, 1~10 MPa, 2 h。固化结束后自然冷却, 于烘箱中 130~150℃ 后处理 1 h, 制样条备用。

### 1.4 性能测试

纵向拉伸强度和拉伸弹性模量按 GB 3354-82 标准测试。冲击强度按 GB/T 1451-83 测试。

## 2 实验结果及讨论<sup>[3-5]</sup>

### 2.1 层压固化工艺控制

加压时机应选择在挥发物几乎完全除尽, 且树脂开始凝胶化之前。加压过早不仅会使挥发物不能除尽, 易在材料内部造成空隙, 也会使部分树脂流失; 加压过迟, EP 易凝胶化而造成空隙率增大, 也使层间粘接较差, 易发生层间分离。笔者采用如下工艺: 体系在 90~130℃ 预固化 10 min 后, 再于 130~140℃ 加压固化 120 min。

### 2.2 碳纤维含量对 CF/GF/EP 性能的影响

在相同 MR 芯层(30% 玻璃纤维布/70% 玻纤毡)的两表面铺置浸胶单向碳纤维, 复合固化成 CF/GF/EP 复合材料, 不同碳纤维含量时的纵向拉伸强度、拉伸弹性模量和冲击强度见表 1。

单向混杂纤维增强复合材料的拉伸弹性模量和冲击强度能较好地服从混合规则, 其拉伸弹性模量可以表示为:

收稿日期: 1999-08-11

表1 不同碳纤维含量的 CF/GF/EP 的力学性能

项 目	碳纤维体积含量 <sup>1)</sup> /%				
	0	9	15	17	26
拉伸强度/MPa	183	324	344	392	569
拉伸弹性模量/GPa	3.9	7.0	11.1	13.3	16.7
冲击强度/kJ·m <sup>-2</sup>	243	227	143	104	101

注:1)相对于复合材料总体积。

$$E_H = E_c V_c + E_G V_G + E_R V_R$$

式中:  $E_H$ ——复合材料的拉伸弹性模量;

$E_c$ ——碳纤维的拉伸弹性模量;

$E_G$ ——玻璃纤维的拉伸弹性模量;

$E_R$ ——树脂基体的拉伸弹性模量;

$V_c$ ——碳纤维的体积分数;

$V_G$ ——玻璃纤维的体积分数;

$V_R$ ——树脂基体的体积分数。

CF/GF/EP 的拉伸强度低于按照混合规则计算出的数值,且在碳纤维体积分数大于其临界体积分数的情况下,拉伸强度随碳纤维含量增加而增加。即 CF/GF/EP 的拉伸强度首先随  $V_c$  增加而降低,到达某一临界  $V_c$  值后,又随  $V_c$  增加而增加。由表 1 可知,夹芯完全相同的 CF/GF/EP 夹层复合材料的力学性能,也呈现类似的变化规律。由于碳纤维具有高强度、高模量、脆性大的特点,随表层碳纤维含量的增加,拉伸强度和拉伸弹性模量显著增加,而冲击强度则显著降低。即少量 CF 的加入明显提高了 GF/EP 的拉伸强度和拉伸弹性模量。由于夹芯部分中与单向 CF 同向的 GF 比例很少,可以认为  $V_c$  为 15% 或 9% 时,已超过了碳纤维的临界体积值,从而使拉伸强度表现为单一方向的增加。

### 2.3 CF 铺设角度对 CF/GF/EP 力学性能的影响

在 MR 玻璃纤维芯层表面,各对称铺设四层碳纤维无纬布。三种不同铺层结构的 CF/GF/EP 的力学性能见表 2。

对于单向纤维复合材料而言,其破坏形式主要有两种:一种是纤维的破坏,纤维大量断裂或屈曲;一种是由于横向应力(主要是拉应力)和纵向剪切应力引起的沿纤维方向在基体和界面上的破坏。二者中前者的破坏强度比后者强得多,故第二种破坏形

表2 CF 铺层结构对 CF/GF/EP 力学性能的影响

项 目	四层 CF 铺层角度/(°)		
	0/0/0/0	0/-45/45/0	0/90/90/0
CF 含量/%	26	22	28
拉伸强度/MPa	569	313	329
拉伸弹性模量/GPa	16.7	8.30	8.88
冲击强度/kJ·m <sup>-2</sup>	101	162	66

式起控制作用<sup>3)</sup>。单向纤维复合材料的实际结构部件不能采用单向铺层的形式,因为偶然的、不大的外力就足以使构件在纵向产生开裂,造成破坏和失效。因此采用适当的多向铺层,如正交铺层和角铺层等是必要的。混杂纤维复合材料与此类似,当把碳纤维和玻璃纤维相互平行放置时将完全由碳纤维承担负荷;如果以不同的角度铺放,就能起到碳纤维和玻璃纤维性能相互弥补的良好效果。由表 2 可以看出,CF/GF/EP 中表层碳纤维的铺层方向对材料性能影响很大,中间二层 CF 取 45° 或 90° 方向时,其纵向拉伸强度、拉伸弹性模量与 0° 方向相比,变化较小,但 CF 可使这二个方向的性能得到平衡。在实际应用中,可以通过设计适当的铺层组合,来满足不同的使用条件和要求,其中受力大的方向要有较大比例的铺层。

### 3 结论

(1)在玻璃纤维为 MR 型夹芯、CF 为表层的混杂纤维复合材料 CF/GF/EP 中,少量 CF 的加入可显著提高 GF/EP 的拉伸强度和拉伸弹性模量。

(2)CF/GF/EP 中碳纤维的铺层方向对材料性能影响很大,单向排列可以增强复合材料在单一方向的性能,而以不同角度铺放可平衡不同方向的性能。

### 参考文献

- 1 毛卫杰.中温固化环氧树脂基体及其在复合材料钓鱼杆上的应用.玻璃钢/复合材料,1999(2):23
- 2 李家驹,等.先进复合材料四人皮艇及其整体刚度测定.玻璃钢/复合材料,1997(5):3
- 3 Mori S, et al. Hybrid fiber-reinforced plastic laminates. JP 07 01 625
- 4 Nakamura T, et al. Composite plastic for easy bending. JP 06 297 632
- 5 Muto N, et al. Design of intelligent structures containing CFGFRP composites with selfdiagnosing function for fracture. Trans Mater Soc Jpn, 1994, 15A :685

## THE MECHANICAL PROPERTIES OF CF/GF/EPOXY COMPOSITES

Zhao Shigui, Xi Jianren, Chen Guowen

(College of Materials Science and Engineering, Shandong University of Technology, Jinan 250061)

**ABSTRACT** The hybrid fiber reinforced composites——CF/GF/EP were prepared and its tensile strength and impact strength had been tested. It is showed that the contents and orientation of continuous non-woven CF are important to the mechanical properties of CF/GF/EPOXY composites.

**KEYWORDS** carbon fiber, glass fiber, hybrid, mechanical properties