

文章编号:1674-2869(2015)08-0049-04

# 碳纤维布增强酚醛环氧树脂的力学性能

彭永利,王醉寒

武汉工程大学材料科学与工程学院,湖北武汉 430074

**摘 要:**酚醛树脂具有较好的机械加工性能以及极佳的耐热性能,但是酚醛树脂性脆,韧性差,采用环氧树脂对其进行共混改性可以提高酚醛树脂的韧性,但是会损失一定的热性能。以碳纤维布作为增强材料,酚醛树脂,环氧树脂作为基体,经过浸渍,层压成型等工艺,制得碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料。通过比较不同质量分数的酚醛/环氧树脂质量比所制得的材料的力学性能,热性能及扫描电镜表征出的复合材料的微观结构,得出在环氧树脂质量分数为 25%时,该复合材料的弯曲强度达到 262.5 MPa,冲击强度达到 62.3 kJ·m<sup>-2</sup>,相对于没有加入环氧树脂的碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料,分别提高了 23%和 185%。热形变温度达到 158.8 ℃,相对于没有加入环氧树脂的复合材料减少了 13%。综合来看,环氧树脂质量分数在 25%时,碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料具有最佳的综合性能。

**关键词:**碳纤维;酚醛环氧树脂;力学性能

**中图分类号:**625.5;O621.3;O622.5

**文献标识码:**A

**doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2015.08.010

## 0 引 言

碳纤维具有超高的强度、超高的模量和优良的耐腐蚀性等优点,以碳纤维作为增强材料的树脂基复合材料在航空、航天、体育器械、医疗器材等诸多领域中已经得到了广泛的应用<sup>[1]</sup>。酚醛树脂的原料来源较广,价格较低廉,生产工艺较为简单,对设备要求较低,成型加工性好,并可以通过各种改性手段易获得更为优良的力学性能、热性能、电性能、烧蚀性能等其他各方面性能,酚醛树脂本身具有良好的阻燃性能,较低的发烟率,很少产生有害气体,并且酚醛树脂是合成树脂中工业化生产最早的品种,以上的种种因素使得酚醛树脂已成为机械生产、电器电工、国防建设及其它工业部门在实际生产中不可或缺的材料<sup>[2-3]</sup>。但是酚醛树脂延伸率低,脆性大,韧性差,需要通过改性来提高其韧性。环氧树脂具有良好的相容性,较好的力学性能尤其是韧性,易于加工等优点,用环氧树脂改性酚醛树脂可以在保留酚醛树脂高耐热性的同时提高酚醛树脂的韧性<sup>[4-6]</sup>。

综上所述,用环氧树脂改性酚醛树脂可以在保留酚醛树脂高耐热性的同时提高酚醛树脂的韧性,从而提高复合材料基体部分的机械性能。采用碳纤维作为增强材料可以复合材料的骨架部分,

具有更好的力学性能,热性能及耐腐蚀性能<sup>[7]</sup>。

本文主要研究以环氧改性酚醛树脂作为基体,碳纤维布作为增强材料,采用浸渍,层压工艺等压制成型并测试复合材料的力学性能和热性能。讨论在不同的环氧树脂含量下,复合材料力学性能的变化以及环氧树脂含量与复合材料性能的关系,并结合各组材料的热性能,得出可以使复合材料具有最佳综合性能的环氧树脂。

## 1 实验部分

### 1.1 实验原料

增强材料采用的是浙江金虹胶业生产的斜纹 3 k 碳纤维布;酚醛树脂采用的是山东济宁华凯树脂有限公司生产的 PF-3213 水溶性酚醛树脂,常温下黏度为 26 mps,固含量为 53%(质量分数);环氧树脂采用的是巴陵石化生产的 E-51 型环氧树脂。

### 1.2 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料成型工艺

碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料成型工艺如图 1 所示。

**1.2.1 浸渍料的制备** 配制环氧树脂质量比分别为 0,10%,15%,20%,25%,30%的酚醛/环氧树脂溶液,加热至 60 ℃,搅拌均匀。将碳纤维布裁剪至符合模具的尺寸,并分别浸泡于不同环氧树脂含量的树脂溶液中 1 h。1 h 后将碳纤维布取出,置于

收稿日期:2015-03-25

作者简介:彭永利(1968-),男,黑龙江清宝人,教授,博士研究生导师,研究方向:热固性树脂及其复合材料。

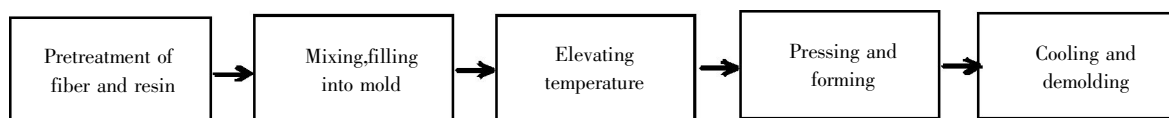


图 1 碳纤维布/环氧酚醛树脂复合材料成型工艺流程图

Fig.1 Flow chart for the preparation of composite molding process

干燥通风处风干约 12 h, 得到可用于压制成型的碳纤维布浸渍料。

1.2.2 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料的制备 取适量碳纤维布浸渍料, 在烘箱中 105 ℃ 预热 30 min 后放入模具, 将模具放入热压机(R-3220 型, 武汉启恩科技发展有限公司)中, 在压力为 10 MPa, 温度为 180 ℃ 的条件下, 成型 40 min. 冷却后脱模, 得到碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料。

### 1.3 复合材料性能测试

弯曲强度按照 GB/T 1449-2005, 采用深圳高品测试机械有限公司生产的 WDW-20 万能材料测试机进行测定, 测试速率为 2 mm/min, 标距为 64 mm。

冲击强度按照 GB/T 1843-2008 标准, 采用河北省承德试验机厂生产的悬臂梁冲击试验机进行测定, 采用无缺口样条热变形温度按照 GB/T 1634-2004 标准, 采用热变形温度测定仪进行测试, 升温速率为 120 ℃/h。

采用日本电子生产的 JSM-5510LV 扫描电子显微镜对冲击断面进行观察。

## 2 结果与讨论

### 2.1 环氧树脂含量与碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料力学性能的关系

图 2 为环氧树脂含量与碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料弯曲强度的关系。由图中可以得知, 随着环氧树脂含量的升高, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料的弯曲强度出现逐步升高的趋势。当环氧树脂含量达到 25% (质量分数, 下同) 时, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料弯曲强度达到最大值 262.5 MPa, 相对于没有加入环氧树脂的碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料, 提高了 23%。之后随环氧树脂含量升高, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料弯曲强度逐渐降低。

图 3 为环氧树脂含量和碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料冲击强度的关系。从图中可以看出, 随着环氧树脂含量的升高, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料的冲击强度逐步升高。当环氧树脂含量达到 25% 时, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料冲击强度达到最大值 62.3 kJ/m<sup>2</sup>, 相对于没有加入

环氧树脂的碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料, 提高了 185%。之后随环氧树脂含量升高, 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料冲击强度逐渐下降。

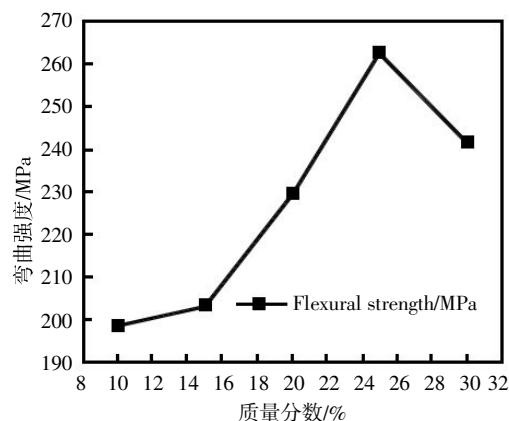


图 2 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料弯曲强度与环氧树脂含量的关系

Fig.2 Relationship between flexural strength and epoxy resin content of composite

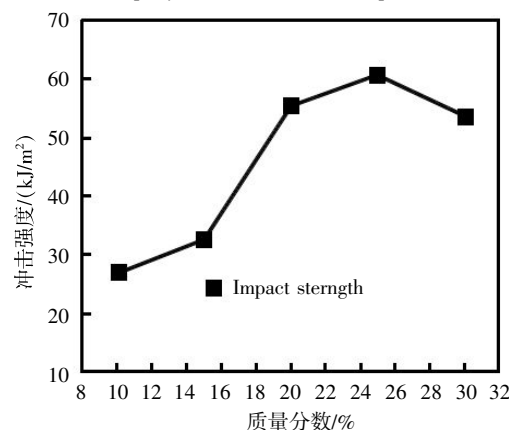


图 3 碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料冲击强度与环氧树脂含量的关系

Fig.3 Relationship between impact strength and epoxy resin content of composite

在此复合体系中, 纤维和树脂基体共同承受外力, 其中主要承担外力的是纤维, 树脂基体通过界面将外力均匀的传递到每个纤维中, 分散了所承受的应力, 从而复合材料的力学性能得到了提高<sup>[8]</sup>。酚醛树脂性脆, 加入环氧树脂可以与酚醛树脂共固化, 达到使树脂增韧的效果<sup>[9]</sup>。共固化的效果决定了树脂基体分散应力的能力, 因此加入适量的环氧树脂可以提高复合材料的力学性能。

## 2.2 环氧树脂含量与碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料热性能的关系

图 4 为环氧树脂含量对碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料热变形温度的影响. 从图中可以看出,在不加入环氧树脂时,碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料的热变形温度达到最大值 184.2 °C,随着环氧树脂含量的增加,碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料热变形温度一直降低,环氧树脂含量在 30%时,热变形温度为 150.3 °C. 在复合材料达到最佳力学性能,即环氧树脂含量在 25%时,热形变温度为 158.8 °C,与最大值相比减少了 13%.

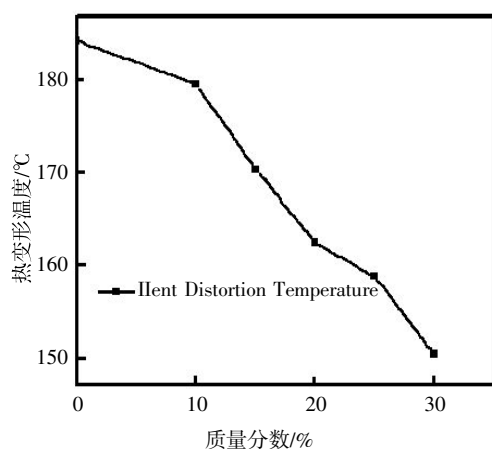


图 4 复合材料热变形温度与环氧树脂含量的关系

Fig.4 Relationship between heat distortion temperature and epoxy resin content of composite

## 2.3 不同环氧树脂含量下碳纤维布/酚醛环氧树脂复合材料冲击的断面形貌

不同环氧树脂含量的复合材料冲击断面形貌如图 5 所示. 图 5(a)为环氧树脂含量在 20%时复合材料的断面形貌,从图中可以看出,纤维和树脂分布较为均匀,在断面仍有树脂附着,说明纤维与树脂基体相容性较好,因此复合材料具有较强的吸收冲击能的能力,具有较好的力学性能;图 5(b)为环氧树脂含量在 25%时复合材料的断面形貌,与图 5(a)相比,纤维和树脂分布均匀度更为均匀,纤维和树脂之间的间隙更少更小,纤维和树脂之间的结合紧密度高于图 5(a)中即环氧树脂含量在 20%时的复合材料,因此复合材料具有更好的力学性能. 图 5(c)为环氧树脂含量在 30%时复合材料的断面形貌,从图中可以看出,与图 5(a),图 5(b)相比,孔洞和裂隙比图 5(a)多,比图 5(b)少,因此力学性能要强于环氧树脂含量在 20%时的复合材料,弱于环氧树脂含量在 25%时的复合材料.

结合复合材料的冲击性能和冲击断面形貌可以看出,碳纤维布增强酚醛环氧树脂复合材料在环

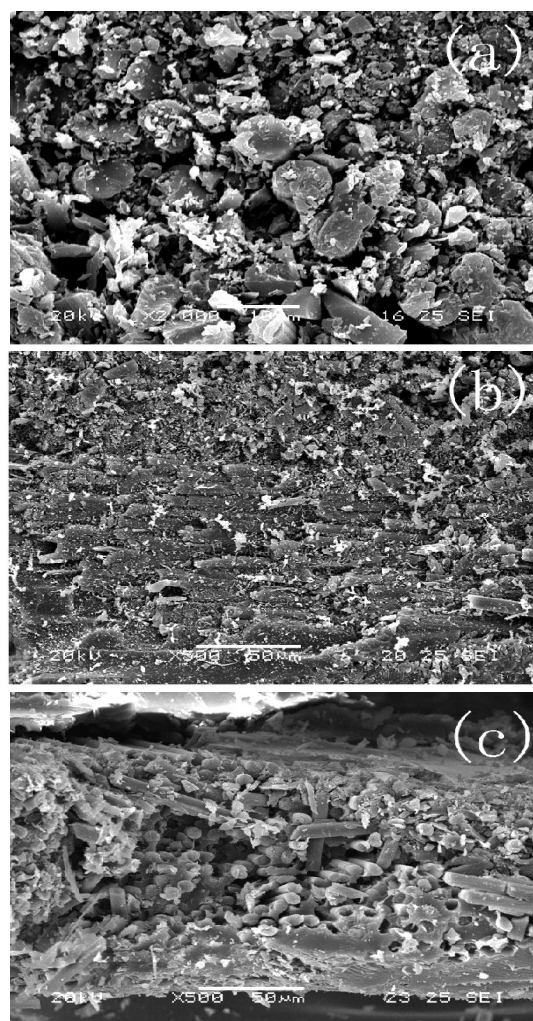


图 5 不同环氧树脂含量的复合材料冲击断面口形貌

Fig.5 Fracture surface morphology of composite with different epoxy resin content

氧含量为 20%时,树脂基体为酚醛树脂和环氧树脂的共固化物,且基体并未呈现出一个完整的连续相,当环氧树脂含量到 25%时,基体呈相对完整的连续相,而当环氧树脂含量到达 30%,树脂基体部分又呈现出由连续相到分散相的转变,基体内部缺陷部分增多,因而机械性能出现下降.

## 3 结 语

a. 环氧树脂含量的提高对复合材料的力学性能有较为明显的提高作用,当环氧树脂含量在 25%时,复合材料的弯曲强度达到 262.5 MPa,冲击强度达到  $62.3 \text{ kJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ,较纯酚醛树脂分别提高了 23%和 185%.

b. 环氧树脂的加入会降低复合材料的热性能,随环氧树脂含量的增加复合材料的热变形温度下降较为严重.

c. 通过观察微观形貌可以得出,环氧树脂含量在 25%时,树脂与纤维之间的结合性最好,与力学

性能测试结果相符。

#### 参考文献:

- [1] 贺福.碳纤维及其应用技术[M].北京:化学工业出版社,2004.  
HE Fu. Carbon fiber and its application technology [M]. Beijing:Chemical Industry Press,2004. (in Chinese)
- [2] 黄发荣,万里强.酚醛树脂及其应用[M].北京:化学工业出版社,2011.
- [3] 雅露,饶军.新型酚醛复合材料及工艺进展[J].玻璃钢/复合材料,1996(2):43-46.  
YA Lu, RAO Jun. New type phenolic resin and its process development [J]. Glass Steel/Composite, 1996 (2): 43-46. (in Chinese)
- [4] 孙晓牧. 国外酚醛树脂市场概况 [J]. 热固性树脂, 1997(1):53-56.  
SUN Xiao-mu,Market of phenolic resin abroad [J]. Thermosetting Resin, 1997(1):53-56.(in Chinese)
- [5] ZIMA V, SVOBODA J, GENES L, et al. Synthesis and characterization of new strontium 4-carboxyphenylphosphonates [J]. Journal of Solid State Chemistry, 2007, 180(3):929-939.
- [6] 于红卫. 改性酚醛树脂研究进展 [J]. 建筑人造板, 2001(2):20-24.  
YU Hong-wei. Research process on modification of phenolic resin [J]. Building Artificial Boards, 2001(2): 20-24. (in Chinese)
- [7] NAIR C P R. Advances in addition-cure phenolic resin adhesives [J]. Polym Sci, 2004, 29(5): 401-498.
- [8] Plast. Technol edition. plastic BMC arrives [J]. Plast Technol, 2003(9): 24.
- [9] Espinosa M A. Novel phosphorilated flame retardant thermosets: epoxy-benzoxazine-novolac systems [J]. Polymer, 2004, 45: 6103-610.

## Mechanical properties of phenolic epoxy resin reinforced with carbon fiber cloth

PENG Yong-li, WANG Zui-han

School of Materials Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

**Abstract:** Phenolic resin owns favorable machining property and excellent heat resistant property, but it has brittleness and poor toughness. Using epoxy resin to conduct the blending modification to improve the toughness of phenolic resin, the thermal property of the resin will get a loss. The phenolic-epoxy resin composite reinforced by carbon fiber cloth was prepared by taking carbon fiber cloth as the reinforced material and phenolic resin and epoxy resin as the matrix via dipping and laminated, molding, etc. By comparing the mechanical property, thermal property and the microstructure of the composite prepared by different phenolic/epoxy mass fractions, we found that when the mass fraction of epoxy resin is 25%, the flexure strength of the composite reaches 262.5 MPa and the impact strength reaches 62.3 kJ·m<sup>-2</sup>, which increases by 23% and 185% respectively compared with the phenolic-epoxy resin composite reinforced by the carbon fiber cloth without adding epoxy resin. Meanwhile, the thermal distortion temperature is 158.8℃, decreasing by 13% compared with the composite without adding epoxy resin. In general, the phenolic-epoxy resin composite reinforced by the carbon fiber cloth owns the best comprehensive properties when the mass fraction of epoxy resin reaches 25%.

**Keywords:** carbon fiber; phenolic-epoxy resin; mechanical properties

本文编辑: 龚晓宁