doi:10.16597/j.cnki.issn.1002-154x.2016.07.002

玻璃纤维增强环氧树脂复合材料的力学性能研究

王启强 彭龙贵*
(绵阳职业技术学院,四川 绵阳 621000;*西安科技大学,陕西 西安 710054)

摘 要 本文以环氧树脂为基体,经改性过的短切玻璃纤维为增强材料,制备了玻璃纤维增强环氧树脂(GF/EP)复合材料。探究了玻璃纤维与环氧树脂配比、固化条件对GF/EP复合材料力学性能的影响。结果表明:当玻纤用量为20%、固化温度为120 ℃、固化时间为3.0 h时制备的GF/EP复合材料拉伸强度约为38.52 MPa、冲击强度约为6.46 kJ/m^2;GF/EP复合材料经60 ℃、5%的食盐水浸泡48 h后力学性能下降,SEM显示纤维与树脂的粘结界面经腐蚀后被破坏。

关键词 玻璃纤维 复合材料 界面 腐蚀

Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Epoxy Resin Composites

Wang Qiqiang Peng Longgui*
(Mianyang Polytechnic, Sichuan Mianyang 621000;
* Xi'an University of Science and Technology, Shanxi Xi'an 710054)

Abstract Glass fiber reinforced epoxy resin (GF/EP) composites were prepared by the epoxy resin and the chopped glass fiber. The mechanical properties of GF/EP composite material about the ratio of glass fiber and epoxy resin and the curing conditions were explored. The research results showed that the GF/EP composites when the fiber content was 20%, the curing temperature was 120 ℃, the curing time was 3.0 h, the tensile strength was about 38.52 MPa, impact strength was about 6.46 kJ/m^2. The mechanical properties of GF/EP composites decreased by 60 ℃, 5% salt water immersion after 48 h. SEM showed that fiber and resin bonding interface was damaged after corrosion.

Keywords glass fiber composites bonding interface corrosion

玻璃纤维增强复合材料强度高、质量轻,具有减震性、抗疲劳性、耐化学品腐蚀性等优点,是目前研究比较成熟、应用最广的复合材料之一。目前我国玻璃钢发展中面临的困难与问题主要有:技术层次不高、新技术与新产品开发力度不够、产品质量及附加值偏低、耐湿热老化能力较差[1]、废料回收与污染治理未引起足够重视等。

界面效应[2]是保证复合材料力学性能的基础,在GF/EP复合材料成型时,玻璃纤维与环氧树脂界面间相互作用直接影响GF/EP复合材料的综合力学性能。玻璃纤维经过表面处理后能够更好的与环氧树脂浸润,获得最佳的力学性能。本文主要研究改性玻璃纤维对环氧树脂的增强效果,研究其耐腐蚀能力。

1 实验部分

1.1 试验仪器及药品

真空干燥箱(DZ-1BC,天津市泰斯特仪器有限

收稿日期:2016-06-02
基金项目:四川省教育厅资助项目(15ZB0410),绵阳职业技术学院自然科学科研项目(ZRYJ1504)
作者简介:王启强(1987~),男,硕士,助教,主要从事复合材料方面的研究

公司)；电子天平(MP－2001，沈阳龙腾电子有限公司)；电子万能实验机(SANS－CMT5105，深圳新三思公司)；高真空钨丝扫描电子显微镜(XACT，日本日立公司)；玻璃纤维(成都市科龙化工试剂厂)；环氧树脂E44(西安树脂厂)；聚酰胺650#(天津市化学试剂三厂)；正辛醇(天津市化学试剂二厂)。

1.2　实验流程

选择环氧树脂作为基体，短切玻璃纤维为增强材料；主要研究树脂与纤维配比、固化条件、以及复合材料的耐腐蚀能力。实验流程如图1所示。

图1　GF/EP复合材料制备工艺流程图

Fig 1　The process flow chart of GF/EP

1.3　性能测试

1.3.1　拉伸强度测试

强度是材料受力破坏时，物体内的最大应力值。测试标准为GB/T2568－1995。用电子万能实验机测试试样，拉伸速度为3mm/min。直到拉断，记录读数，按下列公式计算：

$$\sigma_t = \frac{P}{b \cdot h} \tag{1}$$

式中σ_t为拉伸强度，P为破坏载荷，b为试样宽度，h为试样厚度。

1.3.2　冲击强度测试

力学抗冲击强度一般用缺口冲击功和冲击强度来表示。根据国标GB1943－2007标准，摆锤式冲击试验机XJJ－50，冲击强度是试件在一次冲击实验时，单位横截面积(m^2)上所消耗的冲击功(J)，其单位为J/m^2。

1.3.3　耐腐蚀性测试

GF/EP的耐腐蚀性[3]主要是指FRP在酸、碱、盐及各种有机溶剂中抵抗化学老化的能力。本实验将GF/EP复合材料浸泡在5%的60 ℃食盐水中，测定48 h后的拉伸强度和冲击强度，通过比较腐蚀前后GF/EP复合材料拉伸强度和冲击强度的变化来讨论GF/EP复合材料的耐腐蚀性。

1.3.4　扫描电子显微镜测试

取GF/EP复合材料试样破坏断面，喷金后置于扫描电镜中放大到适当倍数，以分析GF/EP复合材料断口的显微结构。

结果及讨论

通过单因素变量法综合考虑各个因素变量对GF/EP复合材料性能的影响。

2.1　GF/EP复合材料力学性能测试

以环氧树脂15 g、聚酰胺650#5 g、正辛醇0.2 mL为基础，确定玻璃纤维用量、固化条件对GF/EP复合材料力学性能的影响。

2.1.1　玻璃纤维用量对GF/EP力学性能的影响

当固化温度为100℃，固化时间为2.5h时，玻璃纤维含量对GF/EP力学性能影响如图2所示。

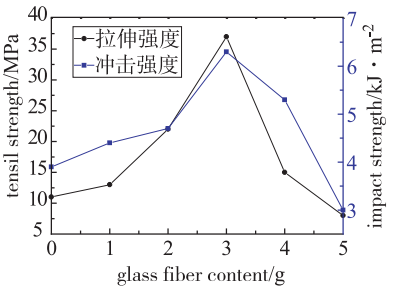


图2　玻璃纤维含量对GF/EP性能的影响

Fig 2　Effect of glass fiber content on GF/EP performance

由图2可知，GF/EP复合材料的拉伸强度与抗冲击强度随着玻璃纤维含量的增加先增大后减小，当玻璃纤维含量达到20%时GF/EP的力学性能最佳。在受力过程中，长径比很大的玻璃纤维起到了传递应力的作用[4~6]，纤维含量在一定范围内时可有效改善GF/EP的力学性能，随着玻璃纤维的增加将减少环氧树脂基体所占的比例，环氧树脂无法充分地分散在玻璃纤维丝束间，导致材料内部难以实现拉伸应力与冲击应力的传递，造成玻璃纤维与环氧树脂的剥离，从而降低GF/EP复合材料的整体力学性能。

2.1.2　固化温度对GF/EP力学性能的影响

当玻璃纤维含量为3 g，固化时间为2.5 h时，固化温度对FRP力学性能影响如图3所示。

由图3可知，GF/EP复合材料拉伸强度与抗冲击强度随固化温度的升高先增大后变小，当固化温度

约为 120 ℃时综合力学性能最佳。在 GF/EP 复合材料中虽然树脂已经交联成不熔的网状结构,受热不会变软或熔化,但是温度过高增加了聚合物链段的活性,受热后分子松弛,产生热振动,影响了纤维与树脂基体的界面粘接强度。纤维和树脂之间的粘接性和摩擦力取决于材料表面浸润性和横向挤压力作用[7]。玻璃纤维在低温下具有更小的横向收缩,所以低温下玻璃纤维增强复合材料能获得高的界面粘接强度,从而使得玻纤/环氧复合材料的低温力学性能得到明显提高[8]。

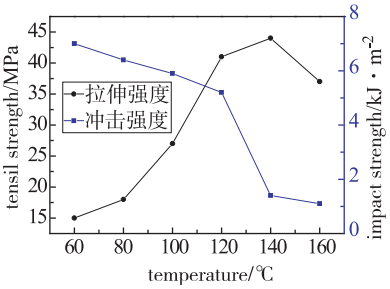


图 3　固化温度对 GF/EP 力学性能的影响

Fig 3　Effect of curing temperature on GF/EP performance

2.1.3　固化时间对 GF/EP 拉伸强度的影响

当固化温度为 140 ℃,固化时间对 GF/EP 力学性能影响如如图 4 所示。

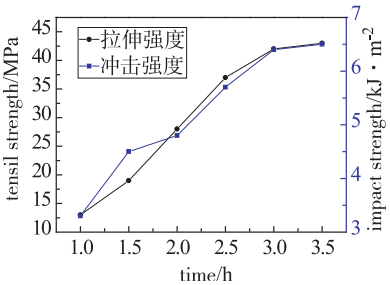


图 4　固化时间对 GF/EP 力学性能的影响

Fig 4　Effect of curing time on GF/EP performance

由图 4 可知,GF/EP 复合材料拉伸强度随着固化时间的增加而增大,当固化时间超过 3.0 h 后对 GF/EP 力学性能的影响不明显。固化时间对 GF/EP 复合材料拉伸强度的影响,主要是通过对环氧树脂固化度的影响而引起的[9]。固化时间太短,玻璃纤维增强环氧树脂体系固化不完全,固化度较低,GF/EP 力学性能比较小;当固化时间大于 3.0 h 时,玻璃纤维增强环氧树脂体系固化已经完成,固化度不再随着固化时间的增加而发生变化,因此 GF/EP 的力学性能不再随着固化时间的延长而增加。

2.2　复合材料耐腐蚀性测试

将 GF/EP 复合材料试样浸泡在 5% 的食盐水中检测其耐腐蚀能力。在 60 ℃情况下浸泡 24 h 后,GF/EP 复合材料表面发白,有小气泡出现;48 h 后测定 GF/EP 复合材料的拉伸强度和冲击强度如表 1 所示。

表 1　GF/EP 复合材料腐蚀前后的力学性能

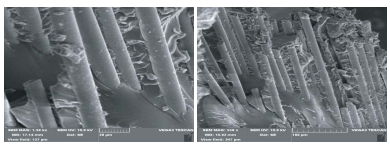
Table 1　Effect of corrosion on GF/EP performance

编号	拉伸强度/MPa		冲击强度/kJ/m^2		质量/g	
	腐蚀前	腐蚀 48 h 后	腐蚀前	腐蚀 48 h 后	腐蚀前	腐蚀 48 h 后
1	38.3	19.4	6.5	3.4	22.8	23.7
2	37.9	18.6	6.8	3.2	22.6	23.7
3	38.4	19.3	6.4	3.3	22.7	23.7
4	38.2	19.3	6.6	3.2	22.8	23.8
5	38.3	19.2	6.4	3.3	22.8	23.6
$\bar{\chi}$	38.2	19.3	6.5	3.3	22.8	23.7

由表 1 可知,试样经盐水中浸泡后,GF/EP 复合材料的质量有所增加,同时 GF/EP 复合材料拉伸强度和冲击强度成倍下降。在浸泡过程中,盐水进入 GF/EP 内部,破坏了树脂和纤维的界面结合能力,导致 GF/EP 复合材料的质量增加,力学性能下降[10~12]。因此在潮湿环境下使用的复合材料,材料强度随着使用时间存在一定的下降问题,研究材料的抗水性能,减少材料对水分的吸收,是复合材料领域应该解决的重要问题[13]。

2.3　GF/EP 复合材料断面扫描显微镜分析

利用扫描显微镜观察试样被盐水腐蚀前后的断面微观结构,其结果如图 5 所示。



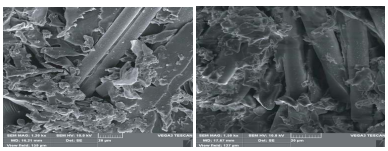
(a)　(b)

图 5　GF/EP 断口 SEM 分析

Fig 5　SEM of fracture surface morphology of GF/EP

由图 5 可知玻璃纤维表面包覆着大量的树脂基体,说明此时纤维和基体的界面结合较强[2]。玻璃纤维在环氧树脂中分布比较均匀;GF/EP 复合材料拉伸断裂为韧性断裂;断口处玻璃纤维与环氧树脂界面紧密,玻璃纤维表面留下结合点,微界面凹凸不平;

没有发生滑移,机械抱合力好,包覆紧密,结合牢固,说明对玻璃纤维的表面处理比较成功。经盐水腐蚀后,材料力学性能下降,其原因如图 2 – 5 所示,玻璃纤维大部分裸露,纤维表面仅粘合较少的树脂基体,界面结合较弱。可见,GF/EP 复合材料经过盐水腐蚀后的界面结合减弱是复合材料各项力学性能下降的主要原因。GF/EP 复合材料经食盐水浸泡后,氯离子由于毛细作用,进人到复合材料的纤维和树脂的界面,并与纤维和树脂发生反应,使得玻璃纤维和环氧树脂的结合界面被破坏,引起界面脱粘,结合强度减弱,最终导致整个复合材料性能的下降[14,15]。



(a)　(b)

图 6　腐蚀后的 GF/EP 断口 SEM 分析

Fig 6　SEM of fracture surface morphology of GF/EP

结　论

1 以环氧树脂为基体,2 ~ 3 cm 的玻璃纤维为增强材料,当玻纤用量为 20%、固化温度为 120 ℃、固化时间为 3.0 h 时,制备的 GF/EP 复合材料拉伸强度约为 38.52 MPa、冲击强度约为 6.46 kJ/m^2。

2 将 GF/EP 复合材料经 5% 食盐水在 60 ℃浸泡 48h 后,其综合力学性能显著下降,扫面电镜结果显示,盐水腐蚀后的复合材料界面被破坏粘结强度减弱。

参考文献

[1] 廖子龙,乌云其其格. 环氧树脂/玻璃纤维复合材料性能研究与应用[J]. 工程塑料应用,2008,36(9):47 ~ 50.

[2] 胡福增. 材料表面与界面[M]. 上海:华东理工大学出版社,2008.

[3] 任慧韬,姚谦峰,胡安妮. 纤维增强复合材料的耐久性能试验研究[J]. 建筑材料学报,2005,8(5):520 ~ 525.

[4] 牟书香,贾智源,碳纤维增强环氧树脂复合材料的液体成型及其性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2013(6):16 ~ 19.

[5] 苏航,郑水蓉,孙曼灵 等. 纤维增强环氧树脂基复合材料的研究进展[J]. 复合材料学报,2011,(4):54 ~ 57.

[6] 郭书良,段跃新,肇研 等. 连续玻璃纤维增强热塑/热固性复合材料力学性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2009,(5):42 ~ 45.

[7] 赖娘珍,周洁鹏,王耀先 等. 芳纶纤维/AFR 树脂复合材料界面粘结性能的研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2011(4):3 ~ 7.

[8] 吕金艳,王雷,柴红梅. 低粘度中温固化环氧树脂体系的基本性能[J]. 玻璃钢/复合材料,2008,(4):16 ~ 18.

[9] 陈平. 环氧树脂及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.

[10] 吕小军,张琦,马兆庆 等. 湿热老化对碳纤维/环氧树脂基复合材料力学性能影响研究[J]. 材料工程. 2005(11):50 ~ 53.

[11] 张彦红,杨勇新,姚勇 等. 玻璃纤维增强复合材料在湿热环境下的耐久性试验及性能衰减模型[J]. 工业建筑,2014 ,44 (10):46 ~ 49.

[12] 孙博,李岩. 复合材料湿热老化行为研究及其耐久性预测[J]. 玻璃钢/复合材料,2013(4):28 ~ 33.

[13] 施军,黄卓. 复合材料在海洋船舶中的应用[J]. 玻璃钢/复合材料增刊,269 ~ 273.

[14] 孙红霞. 复合材料湿环境下的性能研究[D]. 天津工业大学,2005.

[15] 孙丽莉,贾玉玺,孙胜 等. 界面强度对纤维复合材料破坏及力学性能的影响[J]. 山东大学学报(工学版). 2009,39(02):101 ~ 103.

(上接第 3 页)

[8] Peng M J, Guo Y, Yang X F., et al. A highly selective ratiometric and colorimetric chemosensor for cyanide detection[J]. Dyes and Pigments, 2013, 98(3): 327 ~ 332.

[9] Zhang L W, Fang J G, Liu Y P., et al. Highly selective off – on fluorescent probe for imaging thioredoxin reductase in living cells[J]. J Am Chem Soc, 2014, 136(1): 226 ~ 233.