

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2012.12.005

连续玻纤增强硬质 PUR 泡沫复合材料弯曲性能研究

严科飞, 万家军, 任伟华, 王和, 冯新明, 魏玉通

(中国航天科工集团第六研究院, 内蒙古金岗重工有限公司, 呼和浩特 010010)

摘要:使用浇注成型工艺制备了连续玻璃纤维(GF)增强硬质聚氨酯泡沫(FFU)复合材料,研究了 GF 表面处理、GF 直径和 GF 体积分数对其弯曲性能的影响。结果表明,GF 表面经偶联剂处理能够提高 FFU 复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量,FFU 复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着 GF 直径的增大而逐渐减小,加入连续 GF 大大提高了 FFU 复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量,且其随着 GF 体积分数的增加而增大。

关键词:连续玻璃纤维;弯曲性能;表面处理;纤维直径;体积分数

中图分类号: TQ327.1

文献标识码: A

文章编号: 1001-3539(2012)12-0021-04

Flexural Property of Continuous Glass Fiber Reinforced Polyurethane Foam Composite

Yan Kefei, Wan Jiajun, Ren Weihua, Wang He, Feng Xinming, Wei Yutong

(The Sixth Institute of China Aerospace Science and Technology Corporation, Inner Mongolia JinGang Heavy Industry Co. Ltd., Hohhot 010010, China)

Abstract : The continuous glass fiber reinforced rigid polyurethane foam composite was prepared by casting molding process. The effects of fiber surface treated, fiber diameter and fiber volume fraction on flexural property of the composite were studied. The result showed that fiber surface treated by coupling agent could increase the flexural strength and modulus of the composite ; the flexural strength and modulus decreased with fiber diameter increasing ; adding fiber in polyurethane foam significantly increased flexural strength and modulus of the composite, and the flexural strength and modulus increased with fiber volume fraction increasing.

Keywords : continuous glass fiber ; flexural property ; surface treated ; fiber diameter ; volume fraction

聚氨酯(PUR)泡沫塑料具有比模量和比强度高、绝缘、隔热、隔音、耐化学腐蚀等优异性能,但作为工程塑料使用时其强度还比较低。近年来研究并开发了多种 PUR 增强改性新技术,其中使用纤维增强成为一大热点,被认为是较为有效的途径。从 20 世纪 70 年代起国际上开始对玻璃纤维(GF)增强硬质 PUR 泡沫(FFU)复合材料技术开展研究工作^[1-3],但是主要集中于短切纤维和长纤维增强 FFU 复合材料,长纤维的长度达到了 15~50 mm^[4]。周秋明等^[5]研究了 GF 长度和用量对 FFU 复合材料弯曲、压缩性能的影响;王建华等^[6]研究了表面处理对 FFU 复合材料压缩性能的影响;许俊强等^[7-8]研究了短切 GF 增强硬质 PUR 的弹性模量及纤维含量和长径比对 GF 增强 PUR 材料力学性能的影响。杜俊超等^[9]研究了 GF 长度为 5 cm 时纤维体积分数对 FFU 复合材料力学性能的影响。朱劲松等^[10]研究了 GF 种类和含量对可用于吸声 PUR/GF 复合材料的影响。但对于连续 GF 增强 FFU 复合材料研究很少,因此笔者采用浇注成型工艺制备

了连续 GF 增强 FFU 复合材料,然后研究了 GF 表面处理、GF 直径和 GF 体积分数对其弯曲性能影响。

1 实验部分

1.1 原材料

偶联剂: KH-550, 南京优普化工有限公司;

经硅烷偶联剂 KH-550 表面处理 GF (平均直径为 13, 24 和 30 μm)、未经表面处理的 GF (直径为 13 μm): 山东泰山复合材料有限公司;

多亚甲基多异氰酸酯(PAPI)基聚氨酯(PUR): 烟台万华股份有限公司;

聚醚多元醇: 平均官能度 4 左右, 广东聚科聚氨酯有限公司;

有机硅泡沫稳定剂: AK-8805, 德美世创公司;

二月桂酸二丁基锡有机锡催化剂: 江苏化工研究所。

1.2 主要仪器及设备

电子万能试验机: RGT-X010 型, 深圳瑞格尔

联系人: 严科飞, 硕士, 工程师, 主要从事复合材料设计与制造

收稿日期: 2012-09-15

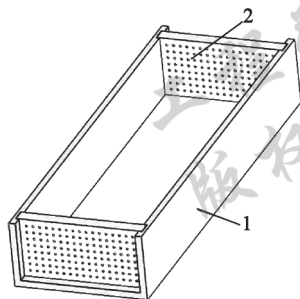
有限公司;

数控机床:江苏泰州市珀森机床厂。

1.3 试样制备

将连续 GF 穿过辅助模具的端面穿线孔,并在端面穿线孔外侧端打结,辅助模具如图 1 所示。端面穿线孔板由硬质泡沫加工而成;使用氰基丙烯酸酯胶粘剂将纤维固定于端面穿线孔;将穿好 GF 的辅助模具放入尺寸稍大于辅助模具的钢模具中;将预先混合好的 PUR 树脂注入到钢模具中;合模反应发泡;等发泡完全后,开启钢模具,取出辅助模具,切除端面穿线孔板,即得到连续 GF 增强 FFU 复合材料。

根据以上步骤制备以下复合材料:GF 未经 KH-550 表面处理,GF 直径为 13 μm 的 FFU 复合材料,GF 体积分数为 12%;GF 经 KH-550 表面处理,GF 直径为 13,24 和 30 μm 的 FFU 复合材料,GF 体积分数为 12%;GF 经 KH-550 表面处理,GF 直径为 13 μm ,GF 体积分数分别为 0%,3%,6%,9%,12%,15% 的 FFU 复合材料。



1—钢壳体;2—端面穿线孔板

图1 辅助模具示意图

1.4 性能测试

使用数控机床将制备的试样材料加工成尺寸为 120 mm × 15 mm × 6 mm 的试样,依照 GB/T 8812.2-2007 在电子万能试验机上测试,试验跨距为 100 mm,试验通过位移控制加载,加载速率为 2 mm/min。每个条件下测试 7 个试样。

弯曲强度和弯曲弹性模量分别由式(1)和式(2)计算:

$$\sigma_f = \frac{3F_m \cdot S}{2b \cdot h^2} \quad (1)$$

$$E_f = \frac{\Delta P \cdot S^3}{4b \cdot h^3 \cdot \Delta S_f} \quad (2)$$

式中: σ_f ——弯曲强度,MPa;

F_m ——最大载荷或破坏载荷,N;

S ——跨距,mm;

b ——试样宽度,mm;

h ——试样厚度,mm;

E_f ——弯曲弹性模量,MPa;

ΔP ——载荷/挠度曲线上线性段内两点的载荷增量,N;

ΔS_f ——与载荷增量 ΔP 对应的跨距中点处的挠度增量,mm。

2 结果与讨论

2.1 GF 表面处理对复合材料弯曲性能的影响

图2显示GF表面处理对FFU复合材料弯曲强度和弯曲弹性模量的影响。从图2可以看出,GF表面经KH-550处理的FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量均高于表面未经KH-550处理的FFU复合材料。这是因为偶联剂改变了基体/GF的界面粘接效果,未经偶联剂表面处理的GF表面与PUR泡沫的结合只是简单的机械结合,而表面经偶联剂处理后的GF与PUR泡沫之间形成牢固的化学键结合。经偶联剂处理后的GF表面带有反应生成的牢固结合的氨基硅烷膜,膜中的氨基与PUR树脂能顺利地进行反应,其反应速度与PUR树脂自身的反应速度基本相同^[11]。

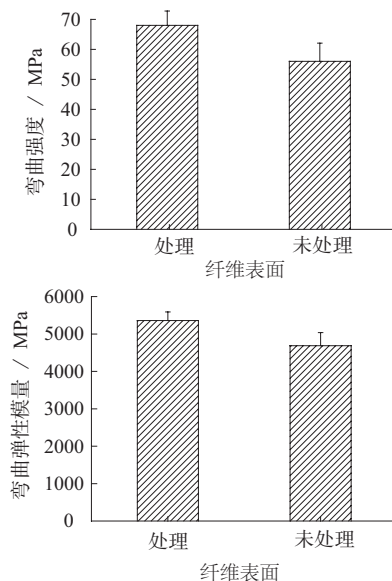


图2 GF表面处理对FFU复合材料弯曲性能的影响

2.2 GF 直径对 FFU 复合材料弯曲性能的影响

图3为GF体积分数为12%时3种不同GF直径的FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量。从图3可以看出,FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着GF直径的增大而逐渐减小。这和

C.K.Moon 等^[12]研究的 GF 直径对复合材料界面剪切强度性能的影响结果相似。复合材料强度由基体和纤维共同承担,而 GF 强度随着 GF 直径的增大而降低^[13],因此复合材料的强度也随着 GF 直径的增大而降低。此外,GF 直径影响了基体/GF 的接触面积,对于直径较细的 GF 其比表面积较大,因此基体/GF 间的接触面积也大,从而使得 FFU 复合材料在受力时能更好地将应力从基体传递到 GF 上,充分发挥 GF 的性能。

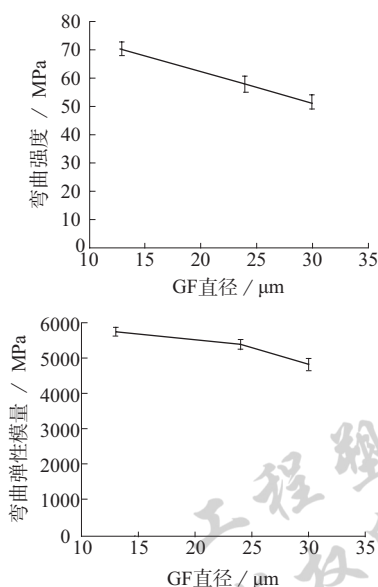


图3 3种GF直径对FFU复合材料弯曲性能影响

2.3 GF 体积分数对复合材料弯曲性能的影响

图4是FFU复合材料的弯曲性能与GF体积分数关系曲线。从图4可以看出,加入连续GF能够有效地提高FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量,此外GF体积分数对FFU复合材料弯曲强度和弯曲弹性模量影响十分明显,FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着GF体积分数的增加而增大。这主要是因为加入连续GF后,材料在受到弯曲应力时,材料由GF和基体共同承载,当应力达到一定值后基体产生裂纹,随着载荷的增加,基体/GF界面开裂,裂纹发生偏转、桥接,最后纤维断裂、拔出,这些过程都需消耗很大的能量,因此加入GF大大提高了复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量^[14];随着GF体积分数的增加,这种现象更加明显,因此复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着GF体积分数的增加而增大。

4 结论

(1)GF表面经偶联剂KH-550处理能够提高

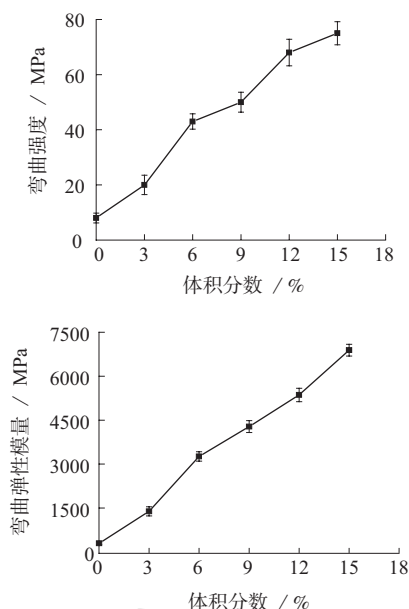


图4 GF体积分数对FFU复合材料弯曲性能的影响

FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量,这主要是因为偶联剂改变了基体/GF的界面的粘接效果。

(2)FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量随着GF直径的增大而逐渐减小,这主要是由于纤维直径影响了GF强度和基体与GF的接触面积两个因素造成的。

(3)加入连续GF显著提高了FFU复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量,且随着GF体积分数的增加而增大。

参考文献

- [1] 朱海静,杨伟,李忠明,等.玻纤增强硬质聚氨酯泡沫塑料研究进展[J].工程塑料应用,2003,31(7):62-64.
- [2] 雷文,卢斌,任超,等.高密度聚氨酯硬泡塑料/玻纤粉复合材料的研究[J].聚酯工业,2008,21(5):21-25.
- [3] 梁书恩,田春蓉,王建华,等.纤维增强聚氨酯泡沫塑料技术及应用[J].聚氨酯工业,2006,21(6):10-13.
- [4] 张蔚,陈丰,孙宇.低密度长玻纤增强聚氨酯复合材料的力学性能[J].工程塑料应用,2011,29(2):24-27.
- [5] 周秋明,顾远,刘涛,等.长玻纤增强反应注射成型PU泡沫塑料的力学性能[J].塑料工业,2010,38(12):73-76.
- [6] 王建华,芦艾,周秋明,等.短切玻纤增强硬质聚氨酯泡沫塑料的压缩性能[J].高分子材料科学与工程,2001,17(3):150-156.
- [7] 许俊强,全学军,高伟斌,等.短切玻璃纤维增强硬质聚氨酯的弹性模量[J].材料导报,2009,23(6):112-115.
- [8] 许俊强,郭芳,储伟,等.玻纤增强硬质聚氨酯材料的合成及力学性能[J].合成化学,2009,17(2):183-186.
- [9] 杜俊超,孔海欧,于文杰.低密度长玻璃纤维增强PU-RIM材料

- 制备研究[J]. 化学推进剂与高分子材料, 2007, 5(1): 52-55.
- [10] 朱劲松, 郑震, 王新灵. 可用于吸声的玻璃纤维/聚氨酯复合材料的制备[J]. 上海: 化学世界, 2005.
- [11] 李国忠, 于衍真. 玻璃纤维对硬质聚氨酯泡沫塑料增强机理的探讨[J]. 高分子材料科学与工程, 1997, 13(4): 130-133.
- [12] Moon C K, Lee J O, Cho H. Effect of diameter and surface

- treatment of fiber on interfacial shear strength in glass fiber / epoxy and HDPE [J]. Journal of Applied Polymer, 1992, 45(3): 443-450.
- [13] 方允伟. 玻璃纤维直径对纤维强度及复合材料强度影响的研究[J]. 玻璃纤维, 2006(6): 1-3.
- [14] 乔生儒. 复合材料细观力学性能[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 1989.

欢迎订阅 2013 年《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘

邮发代号 24-42, 24-138 全国各地邮局均可订阅

也可直接通过邮局或银行汇款向《工程塑料应用》杂志社订阅《工程塑料应用》、《化学分析计量》及合订本光盘, 请注明订阅期刊/光盘的名称、收件人、邮编及地址。

《工程塑料应用》国内外公开发行的全国性塑料专业技术类刊物, 月刊, 大 16 开本, 每月 10 日出版。本刊为中文核心期刊, 是中国工程塑料工业协会会刊, 荣获首届、第二届、第三届全国期刊奖等 26 项国家、省部委级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘(CA)千种表。2013 年定价 15 元/期, 全年 180 元。1986 年以来的期刊价目见表 1。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《化学分析计量》国内外公开发行的全国性分析、计量专业技术类刊物, 双月刊, 大 16 开本, 单月 20 日出版。本刊为中国科技核心期刊, 荣获 6 项省部委级优秀期刊奖, 入选美国化学文摘(CA)千种表。2013 年定价 15 元/期, 全年 90 元。创刊号以来的期刊价目见表 2。欢迎读者来函(附名片)免费索取样刊。

《工程塑料应用》、《化学分析计量》合订本光盘 我社已将《工程塑料应用》自创刊号(1973 年)至 2011 年底共 39 卷 266 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售; 同时也将《化学分析计量》自创刊号(1992 年)至 2011 年底共 20 卷 83 期的期刊电子化, 并制成合订本光盘, 现公开发售。分别利用这两种合订本光盘既可按作者、文题、关键词、年、期等分类查阅各期刊已发表的所有科技文章和科技信息的全文, 又可根据读者自定义的关键词进行全文检索, 非常方便、实用。

《工程塑料应用》合订本光盘优惠售价 530 元;《化学分析计量》合订本光盘优惠售价 230 元。

邮局汇款:

收款单位: 山东济南市天桥区田庄东路 3 号杂志社

邮编: 250031 传真: (0531) 85947355 85878057

电话: (0531) 85878057 85878223 85878278

银行汇款:

户 名: 中国兵器工业集团第五三研究所

开户银行: 济南市工商银行经十一路支行

帐 号: 1602001229014425546

网上订阅: <http://www.epa1973.com>

表 1 《工程塑料应用》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
1986~1989	16	0.825	13.2	19
1990~1992	12	1.4	16.8	23
1993、1994	10	2.4	24	30
1995	6	2.8	16.8	23
1996	6	3	18	24
1997	6	3.5	21	27
1998	12	3.5	42	48
1999	12	4	48	54
2000	12	5	60	66
2001	12	5.5	66	78(两本)
2002	12	6	72	84(两本)
2003	12	6.5	78	90(两本)
2004	12	7	84	96(两本)
2005	12	7.5	90	102(两本)
2006	12	8	104	116(两本)
2007	12	9	108	120(两本)
2008	12	10	120	132(两本)
2009	12	12	144	156(两本)
2010	12	13	156	168(两本)
2011	12	15	180	192(两本)
2012	12	15	180	180(单册)
2013	12	15	180	180(单册)
合计	248		1230(优惠)	1330(优惠)

表 2 《化学分析计量》单册期刊、合订本价格表

年份	期数	每册单价/元	全年定价/元	合订本/元
创刊号~1998	9	3	27	33
1998~2001	14	4	56	62
2002	6	5	30	72
2003	6	6	36	
2004	6	7	42	93
2005	6	7.5	45	
2006	6	8	48	108
2007	6	9	54	
2008	6	10	60	66
2009	6	12	72	78
2010	6	13	78	84
2011	6	15	90	96
2012	6	15	90	90(单册)
2013	6	15	90	90(单册)
合计	95		630(优惠)	680(优惠)