

树脂含量对装甲车体内饰用轻质 复合材料弯曲性能的影响

冯古雨 曹海建 钱 坤

(江南大学纺织服装学院,无锡 214122)

文 摘 以 2 400 tex 的玻璃纤维为原料,在 SGA598 型三维织机上,采用三维浅交弯联结构制备了一种装甲车体内饰用轻质复合材料预制件。将环氧树脂 E51 和固化剂聚醚胺 WHR-H023 以质量比 3:1 的比例组成树脂体系,并将复合材料预制件与配制好的树脂体系以质量比为 2:1、3:2、1:1、2:3、1:2 的比例进行手糊复合成型,制成装甲车体内饰用轻质复合材料。借助 Instron 3385H 型万能材料试验机对材料的弯曲能进行测试,研究树脂含量对复合材料弯曲性能的影响;并通过扫描电子显微镜(SEM)观察材料的断裂界面,研究材料的弯曲破坏机理。结果表明,三维浅交弯联复合材料具有优异的力学性能,织物与树脂的质量比为 1:1 时材料的弯曲强度与模量均达到最大值;材料的破坏模式主要为脆性破坏,具体表现为树脂基体的碎裂以及纤维的抽拔及断裂。

关键词 装甲车内饰,浅交弯联,环氧树脂,聚醚胺,弯曲性能

中图分类号:TB33

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.05.005

Impact of Resin Content on Bending Property of Lightweight Composites for Armed Car Interior

FENG Guyu CAO Haijian QIAN Kun

(College of Textile & Clothing of Jiangnan University, Wuxi 214122)

Abstract A 3D six-layer curved shallow-crossing linking lightweight fabric used for armed car interior was prepared using glass fiber with the linear density of 2 400 tex as raw material on a 3D loom modeled SGA598. The curved shallow-crossing linking composite applying in armored car interior was successfully prepared by hand composite modeling. The curved shallow-crossing linking and resin system was composed of epoxy resin and polyether amine in a mass ratio of 3:1, in the mass ratio of 2:1, 3:2, 1:1, 2:3 and 1:2. Universal material testing machine modeled Instron 3385H was employed to characterize the bending property of the composite and the effect of resin content to the bending property of the composites was studied. Scanning electron microscope was employed to observe the fracture interfaces of the composite and for further study on bending failure mechanism of the composite. the composite possesses excellent mechanical. Both of the bending strength and the bending modulus reach the maximum when the mass ratio of fabrics and resin is 1:1. The fragmentation of resin matrix and the extraction and breakage of fiber is the main failure mode of the composite.

Key words Interior of armored car, Curved shallow-crossing linking, Epoxy resin, Polyether amine, Bending property

0 引言

装甲车是战争中最为常见的运输车辆,其优良的

收稿日期:2015-04-13

基金项目:国家自然科学基金(51302110,51203062),江苏省产学研前瞻性联合研究项目(BY2013015-31, BY2014023-15)

作者简介:冯古雨,1992 年出生,硕士研究生,主要从事纺织复合材料的制备及性能研究。E-mail:fengguyu890@163.com

通讯作者:曹海建,1979 年出生,博士,副研究员,主要从事轻量化复合材料的制备及应用。E-mail:caohaijian@jiangnan.edu.cn。

防护、载重以及机动性能使其在各种特殊场合被广泛应用,现代战争中对于装甲车辆经济性、快速机动性的要求越来越高^[1-2]。装甲车的性能与装甲车体中防护装甲的性能息息相关,因此对于装甲车体内饰用材料的研究显得至关重要^[3-5]。

最初,装甲车体内饰材料使用金属材料,金属材料强度高、模量大、韧性好且表现出显著的各向同性,但其密度高不能满足现代战争快速反应与高灵活性的要求^[6-8]。后来又出现了陶瓷材料,陶瓷材料相较于金属材料具有更高的强度与模量,可以抵御较高速度子弹的冲击能量^[9];热稳定性好,能够在高温环境下保持尺寸稳定性^[10];密度较低,能够降低装甲车质量以满足其对于灵活性的要求,但陶瓷材料也存在拉伸强度较低,塑性和韧性很差等缺点,限制了陶瓷材料的应用^[11]。20世纪50年代左右,纤维增强复合材料开始应用于装甲车体,由于其高强、高模、耐腐蚀、耐冲击、密度低等优点受到了各国军事科研部门的重视^[12-15]。

三维浅交弯联机织复合材料是一类新型三维机织结构材料。相较于层合板结构,其层间结合性强,具有剪切强度高、耐冲击、不易分层等优点,在建筑、交通、国防、航天航空等领域具有越来越广泛的应用。

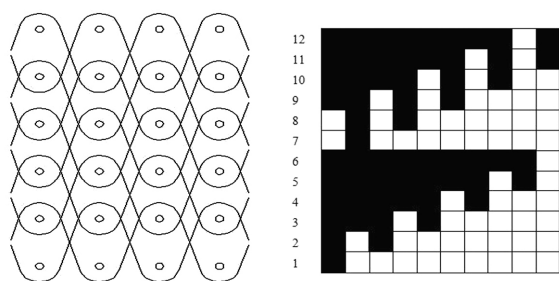
本文将以玻璃纤维为原料,通过特殊的三维机织工艺制得浅交弯联机织物,环氧树脂与聚醚胺组成树脂体系,以不同的混合比例制成复合材料,重点研究了材料的弯曲性能和破坏机理。

1 实验

1.1 机织物的制备

1.1.1 结构设计

根据实验条件,设计了6层三维浅交弯联结构。该结构一个组织循环内经纱根数为10,纬纱根数为12,如图1所示。



(a) 结构示意图

(b) 织物纹板图

图1 6层三维浅交弯联机织结构示意图和织物纹板图

Fig. 1 Structure diagram and pegging plan of six-layer curved shallow-crossing linking fabric

1.1.2 织物制备

原料:E-Glass 粗纱,2400tex,山东泰山玻璃纤维有限公司提供。

整经:整经过程中,严格保证经纱张力一致,采取“8”字型整经方法进行整经。

穿综:使用顺穿法。

穿筘:一筘一穿法,以防止纱线起毛。

织造:采用江阴通源纺机有限公司提供的SGA598型三维剑杆织样机进行,织造工艺参照文献^[16-17]进行。制备好的6层三维浅交弯联机织物结构参数为:筘号30[#];织物经密3根/cm;织物纬密20根/cm;织物幅宽33cm;织物厚度6mm;织物面密度5.45kg/m²。

1.2 复合材料的制备

1.2.1 树脂基体

树脂基体使用无锡树脂厂提供的凤凰牌E-51型环氧树脂以及固化剂聚醚胺WHR-H023,质量比为3:1配置树脂胶液,并在恒温磁力搅拌器的作用下搅拌均匀。

1.2.2 复合成型

采用手糊成型的方式对复合材料进行制备^[16]。

第一步,称量机织物的质量,并按照机织物:树脂基体分别为2:1、3:2、1:1、2:3、1:2的质量比称取5份不同质量的树脂基体,将树脂基体放入真空桶中,进行30min真空脱泡处理,备用。

第二步,对玻璃模具进行脱膜处理,使用脱膜剂807对模具进行擦拭,擦拭3遍,每次间隔20min。

第三步,称量出40%树脂基体胶液预先倒在玻璃模具上,并用刷子将树脂胶液均匀的涂抹成机织物的尺寸;将机织物平稳的铺展在树脂胶液上,将剩下的60%树脂基体胶液倾倒在机织物上,用刷子涂抹均匀并同时用猪鬃滚碾压以赶出其中的气泡。

第四步,将另一块经过脱膜处理的玻璃模具覆盖在织物表面,并反复挤压排出织物内部的空气。

第五步,将处理好的织物连同模具一并放入101A-4S型电热鼓风干燥箱内进行固化定型,固化条件为温度70℃,时间3h。取出复合材料,并根据GB/T 1449-2005(纤维增强塑料弯曲性能试验方法)^[18]切割成相应尺寸的试样,备用。

第六步,重复第二步到第五步,制备出机织物:树脂为2:1、3:2、1:1、2:3、1:2的五组试样并标记为1[#]、2[#]、3[#]、4[#]、5[#]组。

制备好的三维浅交弯联机织复合材料结构参数如表1所示。

表1 三维浅交弯联机织复合材料结构参数

Tab.1 Structure parameter of 3D curved shallow-crossing linking composites

组别	质量比 (织物:树脂)	厚度 /mm	面密度 /kg·m ⁻²	纤维体积分数 /vol%
1#	2:1	5.9	6.37	38.5
2#	3:2	6.1	8.12	37.2
3#	1:1	6.3	9.55	36.4
4#	2:3	8.7	11.23	26.1
5#	1:2	10.2	12.91	22.3

1.3 性能测试

1.3.1 弯曲性能

按照 GB/T 1449—2005(纤维增强塑料弯曲性能试验方法)^[18] 的相关规定进行。使用 Instron 3385H 型万能材料试验机对试样进行测试,并得到相应数据。试样尺寸及测试条件如表2所示。

表2 弯曲试样尺寸及测试条件

Tab.2 Size and test condition of bending sample

组别	试样尺寸 /mm	弯曲跨距 /mm	测试速度 /mm·min ⁻¹
1#	118×15×5.9	94.4	2
2#	122×15×6.1	97.6	2
3#	126×15×6.3	100.8	2
4#	150×15×8.7	139.2	2
5#	166×15×10.2	163.2	2

1.3.2 破坏形貌

使用日本 Hitachi 公司的 SU1510 型扫描电子显微镜 SEM 对弯曲试样破坏形貌进行表征。放大倍数为 200 倍,并记录下图像。

2 结果与分析

2.1 弯曲特性

不同织物与树脂比例的三维浅交弯联机织复合材料弯曲应力—应变曲线如图2所示。

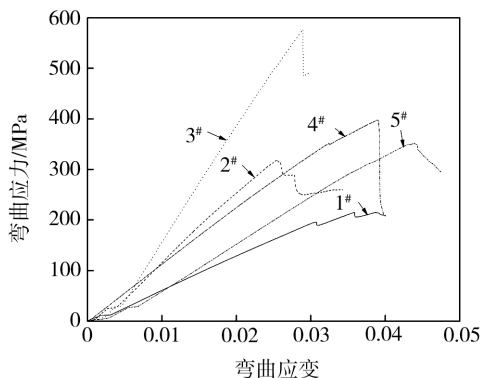


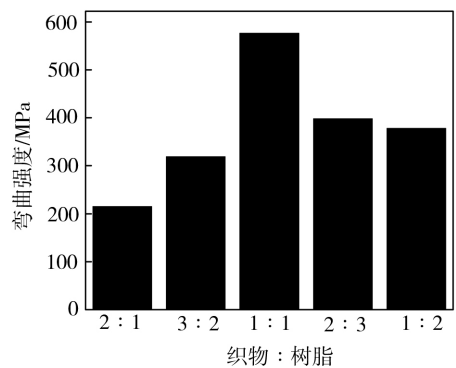
图2 不同树脂含量的复合材料弯曲应力—应变曲线

Fig.2 Bending stress-strain curve of different resin content of composites

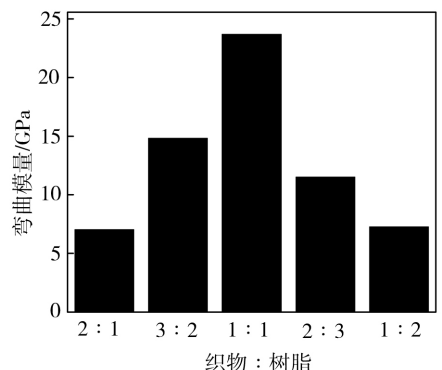
由图2结合测试过程可知,三维浅交弯联机织复合材料的弯曲特性为:初始阶段弯曲应力随应变的增加呈线性增加,材料处于弹性变形阶段;随着应变的增加,材料的弯曲应力达到最大值,此时试样上表面发生挤压破坏,树脂堆积发生褶皱现象;下表面发生拉伸破坏,树脂开裂,纤维暴露在外,并伴随着脆断声;随着应变继续增加,试样急剧破坏,纤维与树脂脱粘,纤维断裂,曲线表现为弯曲应力的急剧下降。整体表现为脆性破坏。

2.2 弯曲性能

树脂含量对三维浅交弯联机织复合材料弯曲性能的影响如图3所示。



(a) 弯曲强度



(b) 弯曲模量

图3 树脂含量对复合材料弯曲性能的影响

Fig.3 Influence of resin content on the bending strength and modulus of composites

由图3可知,(1)当树脂含量小于50%时,三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能随着树脂含量的增加而增加。当织物与树脂的质量比为2:1时,弯曲强度为215.25 MPa,弯曲模量为7.04 GPa;织物与树脂质量比3:2时,弯曲强度为319.03 MPa,模量为14.82 GPa。原因分析:在复合成型过程中,树脂胶液无法全部浸润纤维,导致位于内层的纤维之间没有树脂将其粘接在一起。当其受到弯曲载荷作用时未粘接在一起的纤维不能传递载荷作用,材料承受载荷的方式由整体承受变为各个单根纤维分别承受。

(2)当树脂含量大于50%时,复合材料的弯曲性能随着树脂含量的增加而减小。当织物与树脂的质量比为2:3时,弯曲强度为397.84 MPa,模量为11.51 GPa;织物与树脂质量比1:2时,弯曲强度为377.96 MPa,模量为7.27 GPa。原因分析:在复合过程中,树脂胶液在完全浸润纤维并起到粘接作用后会产生一定厚度的树脂富集区。首先树脂富集区的产生增加了材料的厚度,树脂富集区弯曲强度小于同等厚度的复合材料,其次材料弯曲强度的大小与其厚度的平方成反比,所以树脂富集区的产生造成了材料强

度的减小。

(3)当树脂含量等于50%时,织物与树脂的质量比为1:1,弯曲强度为576.20 MPa,模量为23.67 GPa;弯曲性能达到最佳水平。原因分析:在复合过程中,树脂刚好填满纤维间孔隙,起到粘接纤维的作用,并且又不会产生树脂富集区而影响材料的弯曲性能。

2.3 破坏形貌

图4为不同织物与树脂比例的复合材料弯曲破坏形貌图片。

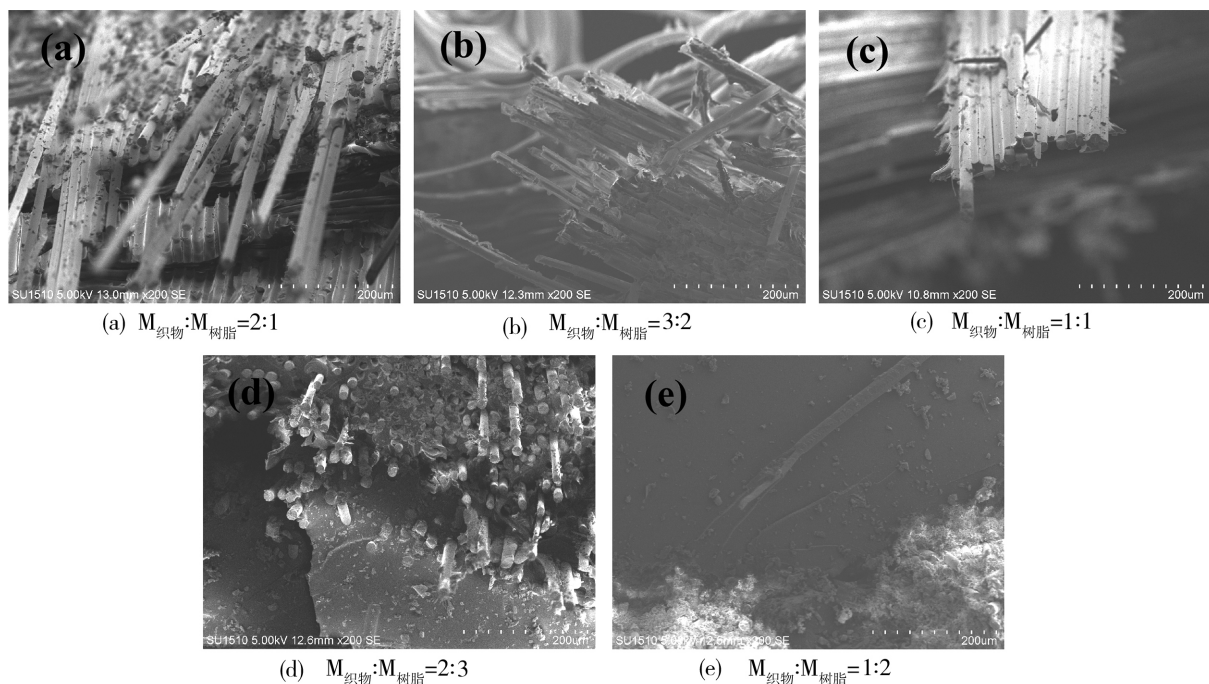


图4 不同树脂含量的复合材料弯曲破坏形貌

Fig. 4 Bending failure morphology of the specimen of different resin content

由图4可知:

(1)当织物的质量大于树脂时,树脂无法充分填充玻璃纤维之间的孔隙,起不到充分的粘接作用,如图4(a)(b)所示;图中可以清晰的看出,玻璃纤维由于树脂含量的问题无法充分粘接为一个整体,所以在受到弯曲载荷作用时纤维之间不能传递载荷的作用而发生了逐根断裂,进而影响了复合材料的力学性能;

(2)在复合材料中织物的质量小于树脂时,会形成树脂富集区,如图4(d)、(e)所示;树脂富集区的存在增加了复合材料的厚度,单纯的树脂富集区强度及模量小于纤维增强树脂,所以树脂富集区的存在影响了复合材料的力学性能;

(3)由图4(c)可以看出,当织物与树脂质量比为1:1时,首先树脂充分的填充了纤维间的孔隙,使

纤维由树脂充分粘结,在受到载荷时,纤维均匀的承受载荷作用,表现为在破坏时纤维的集体断裂;其次并没有多余的树脂形成树脂富集区,所以材料的厚度并没有大量增加,复合材料的力学性能达到了最佳状态;

(4)在受到弯曲载荷作用时,复合材料的破坏形式主要有树脂的碎裂,纤维的抽拔及断裂三种。

3 结论

(1)当树脂含量小于50%时,三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能随着树脂含量的增加而呈现上升趋势;当树脂含量大于50%时,三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能随着树脂含量的增加而呈现下降趋势;当树脂含量为50%时,该三维浅交弯联机织复合材料的弯曲性能达到最佳。

(2)三维浅交弯联机织复合材料的破坏形式主

要为树脂的碎裂,纤维的抽拔及断裂共存。

参考文献

[1] 张玉龙,杨淑丽,郭斌. 坦克装甲车辆用高新材料技术[J]. 车辆与动力技术,2004(1):56-62

[2] 南风. 矛与盾的较量——浅谈装甲材料的发展[J]. 轻兵器,2007,24:9-11

[3] 罗珺,谢光银,马海英. 装甲材料的发展现状与模型设计[J]. 国际纺织导报,2010(4):47-48+50

[4] 曹贺全,张广明,孙素杰,等. 装甲车辆防护技术研究现状与发展[J]. 兵工学报,2012(12):1549-1554

[5] Ogorkiewicz R M,王春琴. 装甲材料的进展[J]. 兵器材料科学与工程,1991(10):54-61

[6] 张煜. “三明治装甲”与铝合金装甲材料发展[J]. 包钢科技,2011(5):4-6+24

[7] 郭静荷,姜亚明. 防刺个体装甲材料的发展与现状[J]. 产业用纺织品,2004(6):5-8+13

[8] 王扬卫,王富耻,于晓东,等. 梯度陶瓷金属装甲复合材料研究进展[J]. 兵工学报,2007(2):209-214

[9] 康永,柴秀娟. 陶瓷复合装甲材料的研究和发展[J]. 佛山陶瓷,2011(1):44-45

[10] 韩辉,李军,焦丽娟,等. 陶瓷-金属复合材料在防弹领域的应用研究[J]. 材料导报,2007(2):34-37

[11] 焦丽娟,李军. 装甲防护材料的新葩——陶瓷-金

属功能梯度复合材料[J]. 纤维复合材料,2007(1):55-58

[12] 王长焕. 轻质复合装甲材料加工技术研究[D]. 南京理工大学,2003

[13] Hosur M V,Abdullah M,Jeelani S. Manufacturing and low-velocity impact characterization of hollow integrated core sandwich composites with hybrid face sheets[J]. Compos. Struct., 2004, 65(1):103

[14] Vaiday U K,Hosur M V,Earl D, et al. Impact response of integrated hollow core sandwich composite panels[J]. Composites Part A, 2000,31(8):761

[15] Tien W S,Yu H P. Low velocity impact responses of hollow core sandwich laminate and interply hybrid laminate[J]. Compos. Struct.,2004,64(2):189

[16] 王梦远,曹海建,钱坤,等. 三维织物间隔复合材料的力学性能[J]. 材料科学与工程学报,2014(6):903-907

[17] 张立泉,朱建勋,张建钟,等. 三维机织结构设计和织造技术的研究[J]. 玻璃纤维,2002(2):3-7

[18] 全国纤维增强塑料标准化技术委员会. GB/T 1449-2005—2005 纤维增强塑料弯曲性能试验方法[S]. 北京: 中国标准出版社,2005: 371-376

(编辑 李洪泉)



致作者

为了进一步提高期刊质量,使期刊规范化、网络化发展。本刊已从2014年第1期开始刊登中图分类号和DOI号,并从2016年第1期开始按规定执行参考文献的新国标(GB/T 7714—2015 信息与文献 参考文献著录规则),请作者在来稿时注意添加中图分类号,参考文献的标注按新国标著录。

本刊不接收纸质和邮件投稿,一律实行在线投稿。请登录期刊网站(<http://www.yhclgy.com>)“在线投稿”按提示要求进行投稿,投稿成功后请速将“保密审查证明”和“版权转让书”原件寄到编辑部,编辑部在收到材料后方送专家外审。

邮寄地址:100076 北京 9200 信箱 73 分箱 18 号 《宇航材料工艺》编辑部 吴坚 收

快递地址:北京市丰台区南大红门路1号 《宇航材料工艺》编辑部 吴坚 收

联系电话:010-68383269

E-mail:703@china.com