

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2021.01.013

机织 / 针织混合铺层对复合材料力学性能的影响

杨莉¹, 陈缘¹, 李晴晴¹, 丁峰¹, 席玉松²

(1. 安徽工程大学纺织服装学院, 安徽芜湖 241000; 2. 中复神鹰碳纤维股份有限公司, 江苏连云港 222069)

摘要: 为使纺织复合材料同时具有机织结构复合材料和针织结构复合材料的综合力学性能, 通过混合铺层方式制备机织 / 针织混合结构复合材料。以芳纶机织平纹织物和针织罗纹织物为增强体, 以环氧树脂为基体, 调整复合材料中增强体的铺层顺序, 利用真空辅助成型技术制备四层层压机织 / 针织混合结构复合材料。通过对复合材料拉伸性能、弯曲性能和冲击性能的测试, 分析混合铺层和铺层顺序对芳纶环氧树脂复合材料力学性能的影响。结果表明, 混合铺层和铺层顺序对芳纶环氧树脂复合材料的弯曲强度和冲击强度有较大影响, 特别是对罗纹结构复合材料纬向弯曲强度和冲击强度的改善。当采用相同铺层方式, 罗纹织物为受力面时, 机织 / 针织混合结构复合材料具有较大弯曲强度和冲击强度。

关键词: 混合铺层; 机织物; 针织物; 复合材料; 力学性能

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2021)01-0063-07

Effect of Woven / Knitted Mixed Layer on Mechanical Properties of Composites

Yang Li¹, Chen Yuan¹, Li Qingqing¹, Ding Feng¹, Xi Yusong²

(1. Department of Textiles and Apparel, Anhui Polytechnic University, Wuhu 241000, China;

2. Zhongfu Shenying Carbon Fiber Co., Ltd., Lianyungang 222069, China)

Abstract : In order to make textile composites have the comprehensive mechanical properties of woven and knitted structural composites, woven / knitted hybrid structural composites were prepared by mixing layers. Four layer woven / knitted hybrid structural composites were prepared by vacuum assisted molding technology through adjusting the laying order of reinforcements with different organizational structures. aramid plain fabric and aramid rib fabric were used as reinforcement materials and epoxy resin was used as matrix. Through the test of tensile, bending and impact properties of the woven / knitted composites, the effects of the mixed layer method and laying sequence on the mechanical properties of the aramid epoxy resin composites were analyzed. The results show that the mixed layer and the laying sequence have great influence on the flexural strength and impact strength of aramid epoxy resin composites, especially the improvement of the latitudinal bending strength and impact strength of rib structure composite. The bending and impact properties of woven / knitted hybrid structure composites are also different when the load bearing surface is different. When the rib fabric is the load-bearing surface, the woven / knitted composite has higher bending strength and impact strength.

Keywords : mixed layer ; woven fabric ; knitted fabric ; composite ; mechanical property

纺织结构复合材料是以纺织预成型体作为增强体的一类增强复合材料。不但具有质量轻、比强度大、比刚度高、抗疲劳性好等特点, 还具有可设计强的优点。预成型体(织物)作为纺织复合材料中的增强体, 决定着复合材料的性能。根据织物纤维

结构, 可将预成型体结构分为机织结构、编织结构、针织结构、缝合结构和非织造结构^[1-2]。其中机织结构和针织结构作为传统纺织结构被常用于复合材料的预成型体结构。机织结构具有较好的稳定性, 是纺织复合材料增强体结构中最常采用的织物结构。

基金项目: 安徽省教育厅高校重点研究项目 (KJ2019A0146)

通信作者: 杨莉, 副教授, 主要研究方向为纺织复合材料 E-mail: tianmaxingyang@sohu.com

收稿日期: 2020-11-02

引用格式: 杨莉, 陈缘, 李晴晴, 等. 机织 / 针织混合铺层对复合材料力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 2021, 49(1):63-69.

Yang Li, Chen Yuan, Li Qingqing, et al. Effect of woven / knitted mixed layer on mechanical properties of composites[J]. Engineering Plastics Application, 2021, 49(1):63-69.

但由于二维机织复合材料的抗冲击性和剪切性较差,且经纬纱交织,使机织复合材料存在明显的各向异性,同时,经纬纱屈曲结构也使复合材料受外力时的初始模量受到影响。针织结构由于在受力时易于产生较大的形变,且针织结构复合材料刚度和强度总体上不如机织结构复合材料,所以一直未在复合材料增强中广泛应用。直至20世纪90年代,针织结构复合材料在复杂形状构件和近净成型预构件中的应用使其受到的关注日渐增多^[3-5]。且研究者们发现,针织结构复合材料与机织结构复合材料相比,具有更好的各向同性和较好的能量吸收性^[6-7]。因此,研究者们试图设计一种同时具有机织结构和针织结构特点的预成型体,提高纺织复合材料的综合力学性能,在此基础上开发了多轴向针织物和机织/针织复合织物。即将经纱和纬纱平直衬入针织地组织中,或是将经纱和纬纱以交织方式衬入针织地组织中。经过研究发现,多轴向结构和机织/针织复合结构不但保证了增强体结构的稳定性,还使其具有一定适型性,同时也使复合材料的力学性能得到改善^[8-12]。但是无论是多轴向针织物,还是机织/针织复合织物都需在专用织机上进行加工,加工条件使其大量应用受到一定局限。

为简化机织/针织结构复合材料预成型体制备工艺,同时使纺织复合材料具有机织结构复合材料和针织结构复合材料的综合力学性能,利用层合复合材料层层铺覆成型的原理^[13],试将机织结构预成型体和针织结构预成型体通过混合铺层的方式制备机织/针织混合结构(以下简称WKHS)复合材料。同时为了进一步讨论预成型体结构对WKHS复合材料力学性能的影响,采用不同的铺层顺序,分析增强体结构混合铺层方式及铺层顺序对复合材料力学性能的影响。

1 实验部分

1.1 主要原料

芳纶平纹织物(机织):织物面密度200 g/m²,经向拉伸断裂强度为1349.79 N,拉伸断裂伸长率为23.56%;纬向拉伸断裂强度为1326.68 N,拉伸断裂伸长率为25.23%,宜兴市洛物碳纤维织造有限公司;

芳纶罗纹织物(针织):织物面密度180 g/m²,经向拉伸断裂强度为837.02 N,拉伸断裂伸长率为58.64%;纬向拉伸断裂强度为20.51 N,拉伸断裂伸长率为149.96%,宜兴市洛物碳纤维织造有

限公司;

环氧树脂:JL-235,常熟佳发化学有限责任公司;

固化剂:JH-242,常熟佳发化学有限责任公司。

1.2 仪器及设备

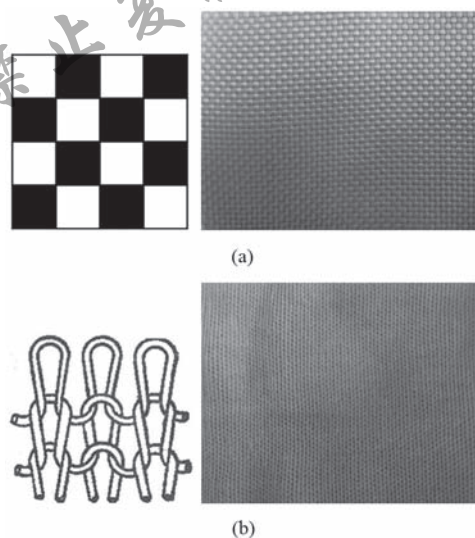
真空泵:2XZ-2型,浙江临海市永昊真空设备有限公司;

冲击试验机:XJJ-50S型,济南恒思盛大仪器有限公司;

电子万能试验机:CSS-88100型,中机试验装备股份有限公司。

1.3 样品制备

平纹织物是机织结构中最简单的结构形式,也是复合材料中常用的织物结构形式,因此,试验中的机织结构组织选定平纹组织。罗纹组织是纬编针织结构的基本组织之一,具有不易卷边,延展性好等性能特点,因此试验中针织结构选定1+1罗纹组织。图1为两种增强体的组织结构。



a—平纹组织结构及平纹芳纶织物;b—罗纹组织结构及罗纹芳纶织物

图1 增强体组织结构

分别将芳纶平纹织物和芳纶罗纹织物裁剪成尺寸为20 cm×20 cm的布块,并按设计的铺层顺序进行铺层,具体铺层方式如表1所示。以环氧树

表1 机织/针织混合结构复合材料铺层顺序¹⁾

试样编号	铺层方式	试样编号	铺层方式
1 [#]	AAAA	5 [#]	ABAB(A)
2 [#]	BBBB	6 [#]	AABB(A)
3 [#]	ABBA	7 [#]	ABAB(B)
4 [#]	BAAB	8 [#]	AABB(B)

注:1) 平纹结构织物用A表示,罗纹结构织物用B表示,(A)代表测试时平纹组织为受力面,(B)代表测试时罗纹组织为受力面。

脂为基体,采用真空辅助成型技术制备四层层合芳纶增强环氧树脂复合材料,环氧树脂与固化剂比例为 100/27,室温下固化 48 h。为了尽量保证复合材料中基体所占质量百分比的一致性,固化过程采用 5 kg 重锤施压。

1.4 性能测试与表征

拉伸性能按照 ASTM D638-2014 测试,分别沿织物经向和纬向,即复合材料中 0° 纤维所在方向和 90° 纤维所在方向切割试样 5 块,试样尺寸为 165 mm×20 mm×3 mm,拉伸速率 2 mm/min。

弯曲性能按照 ASTM D790-2010 测试,分别沿织物经向和纬向切割试样 5 块,试样尺寸为 127 mm×12.7 mm×3 mm,弯曲速率 2 mm/min。

冲击性能按照 ASTM D6110-2008 测试,分别沿织物经向和纬向切割试样 5 块,试样尺寸为 75 mm×10 mm×3 mm,冲击速度为 3.8 m/s,摆锤能量为 7.5 J,仰角为 160°。

2 结果与讨论

2.1 复合材料中的纤维含量

表 2 为不同铺层方式时芳纶纤维环氧树脂复合材料中增强纤维的质量分数。由表 2 可知,平纹组织结构层压而成的复合材料中增强纤维质量分数最大,为 58.06%。罗纹组织结构层压而成的复合材料中的增强纤维质量分数最小,只有 30.02%。经不同平纹、罗纹混合结构铺层层压而成的 WKHS 复合材料中增强纤维质量含量相差不大,且 WKHS 复合材料中增强纤维含量介于平纹复合材料中的增强纤维含量和针织复合材料中的增强纤维含量之间,为 40% 左右。这是因为,罗纹织物由线圈所组成,织物中存在较多的孔隙,有利于树脂对层压增强体结构的浸透和流动。而平纹组织由经向和纬向纱线交织而成,结构相对紧密,纱线间的孔隙小,不利于树脂对增强体结构的浸透。且在材料复合时也发现,罗纹层压复合材料浸胶速度明显快于平纹层压复合材料的浸胶速度,经过混合铺层方式层压时复合材料的浸胶速度也明显较平纹增强体层压复合时的浸胶速度快。

表 2 芳纶纤维环氧树脂复合材料中的增强纤维质量分数 %

试样编号	增强纤维质量分数	试样编号	增强纤维质量分数
1 [#]	58.06	4 [#]	40.66
2 [#]	30.02	5 [#]	39.33
3 [#]	41.60	6 [#]	41.23

2.2 复合材料的拉伸性能

图 2 为复合材料经向和纬向试样的拉伸性能指

标。平纹组织结构的复合材料拉伸强度最大,罗纹组织结构的复合材料拉伸强度最小,而 WKHS 复合材料的拉伸强度介于两者之间,且复合材料的经向方向的拉伸强度均大于纬向方向的拉伸强度。平纹组织结构的复合材料纬向方向的拉伸强度比经向方向的拉伸强度仅减少了 10.22%,而罗纹组织结构的复合材料纬向方向的拉伸强度比经向方向的拉伸强度减少了 56.84%。这是因为,芳纶平纹织物的拉伸断裂强度远大于罗纹织物的拉伸断裂强度,且芳纶平纹织物在经向和纬向的拉伸断裂强力相差较小。而芳纶罗纹织物经纬向拉伸断裂强度相差较大,且罗纹织物受其纬编原理影响,经向的受力纤维数目比纬向多^[14],导致其经向的拉伸强度较高。且由复合材料中增强纤维含量可知,平纹组织结构复合材料中增强纤维含量远大于罗纹组织结构复合材料中的增强纤维含量,导致平纹组织结构的复合材料中承担载荷的纤维多于罗纹组织结构复合材料中的纤维。

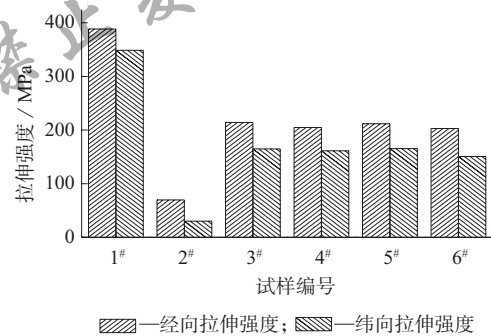
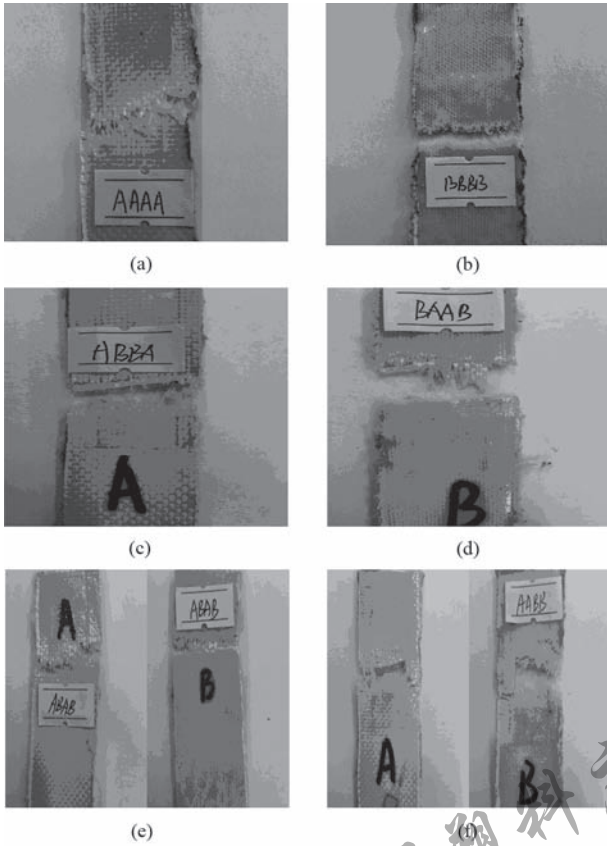


图 2 芳纶纤维环氧树脂复合材料的拉伸强度

图 3 为复合材料的经向拉伸断面照片。由图 3 可发现,平纹结构复合材料的拉伸断面为斜向破损。平纹织物结构较稳定,拉伸断裂强度较大,伴随着复合材料的拉伸,纱线被拉直、伸长,纤维和基体发生破坏,然后是薄弱区域边缘的纬纱和经纱断裂。而针织结构复合材料的拉伸断面为横向贯穿断裂,拉伸过程中线圈发生断裂。而采用混合铺层的 WKHS 复合材料的断口为纤维抽拔。由于平纹织物和罗纹织物之间的拉伸强度差异,罗纹织物先发生断裂,然后平纹织物中的纱线被抽拔出来。通过测试结果发现,铺层顺序对 WKHS 复合材料的拉伸强度影响不大。

图 4 为不同铺层方式下复合材料的应力-应变曲线。由图 4 可知,在经向方向上,平纹组织结构复合材料的拉伸弹性模量最大,罗纹组织结构复合材



a—AAAA ; b—BBBB ; c—ABBA ; d—BAAB ; e—ABAB ; f—AABB
图3 不同铺层方式芳纶纤维环氧树脂复合材料经向拉伸断面

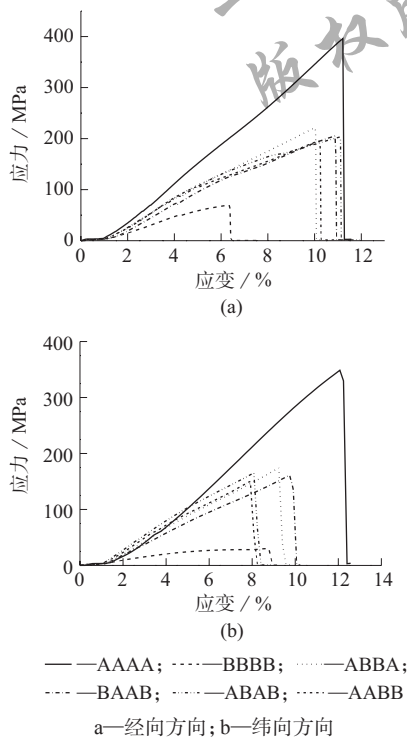


图4 芳纶纤维环氧树脂复合材料的拉伸应力-应变曲线

料的拉伸弹性模量最小。在拉伸过程中,平纹组织结构的复合材料无屈服阶段,在载荷极限时,平纹组

织结构复合材料发生瞬间破损,而罗纹组织结构复合材料在拉伸过程中有非塑性变形过程。纬向方向上,虽然混合铺层后 WKHS 复合材料的拉伸强度没有平纹结构复合材料的拉伸强度大,但 WKHS 复合材料的拉伸弹性模量大于平纹结构复合材料的拉伸弹性模量。说明经过混合铺层层压后的 AFEC 同时具有了机织结构和针织结构复合材料的拉伸性能特点。

2.3 复合材料的弯曲性能

图5为复合材料的弯曲强度测试结果。由图5可知,复合材料沿经向方向的弯曲强度均大于纬向方向的弯曲强度,平纹结构复合材料经向弯曲强度是纬向弯曲强度的2.67倍,罗纹结构复合材料经向弯曲强度是纬向弯曲强度的3.69倍。

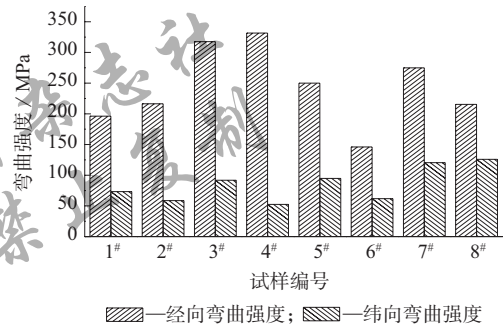


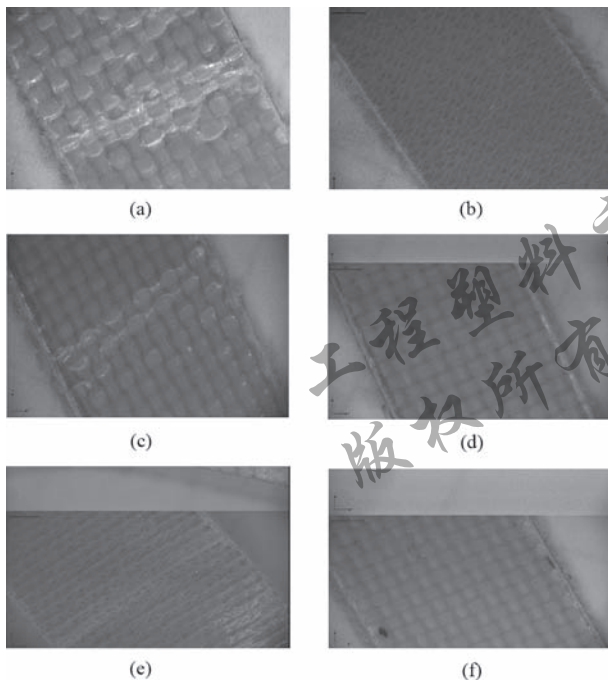
图5 芳纶纤维环氧树脂复合材料的弯曲强度

复合材料的弯曲过程是拉伸性能和压缩性能的综合体现,由于平纹组织结构复合材料和针织组织结构复合材料在经向方向上拉伸性能均优于纬向方向的拉伸性能,因此复合材料在经向方向上具有较好的弯曲性能。经向方向上,罗纹结构复合材料的弯曲强度略大于平纹组织结构的复合材料。这是因为,针织结构由线圈构成,承受载荷时,线圈的伸长变形吸收了较多能量,而平纹织物由于结构稳定,断裂伸长率小于罗纹织物,因此平纹结构复合材料经向方向的弯曲强度小于罗纹结构复合材料的弯曲强度。

采用混合铺层可以改善复合材料的弯曲性能。在经向方向上,采用 BAAB 铺层方式的复合材料的弯曲强度比罗纹组织结构复合材料的弯曲强度增加了34.74%,比平纹组织结构复合材料的弯曲强度提高了36.37%。但铺层顺序对复合材料的弯曲强度也有较大影响,如采用 BAAB 铺层方式的 WKHS 复合材料较 AABB(B) 铺层方式的 WKHS 复合材料的弯曲强度大55.94%。且当 WKHS 复合材料承

担载荷的受力面不同时,复合材料的弯曲强度也有所差异,通过分析发现,当受力面为针织结构时,复合材料表现出的弯曲性能更为优异,如采用 AABB 铺层的复合材料,针织组织结构作为受力面时弯曲强度比平纹组织结构作为受力面时的弯曲强度提高了 32.17%。

这是因为,当采用混合铺层时,复合材料中由于机织物的加入,提高了复合材料的抗拉性能,如图 6a 所示,当机织物作为最外层时,复合材料受弯后表面只发生纤维与树脂的脱粘现象。而当针织结构在外层或作受力面时,可以更好地吸收能量,如图 6b、图 6d、图 6f 所示,复合材料受弯后没有明显的裂纹产生。



a—ABBA ; b—BAAB ; c—ABAB(A) ;
d—ABAB(B) ; e—AABB(A) ; f—AABB(B)

图 6 不同铺层方式机织/针织混合结构复合材料受弯后的形态

2.4 复合材料的冲击性能

图 7 为复合材料的冲击强度。复合材料经向方向的冲击强度大于纬向方向的冲击强度。经向上,罗纹结构复合材料的冲击强度大于平纹结构复合材料的冲击强度,且罗纹结构复合材料经纬向的冲击强度差异较大,经向的冲击强度比纬向的冲击强度大了约 5.25 倍。这是由于罗纹织物在经向上线圈弯纱深度的存在,使其受力时会产生较大形变,可以吸收更多能量^[15]。

受铺层顺序的影响,混合铺层后的芳纶复合

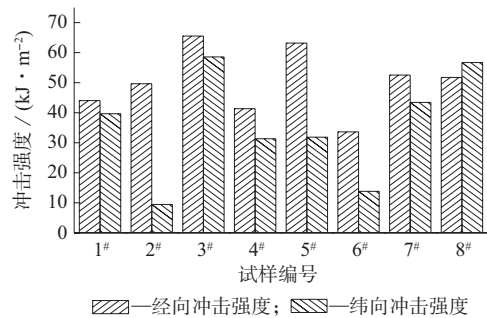


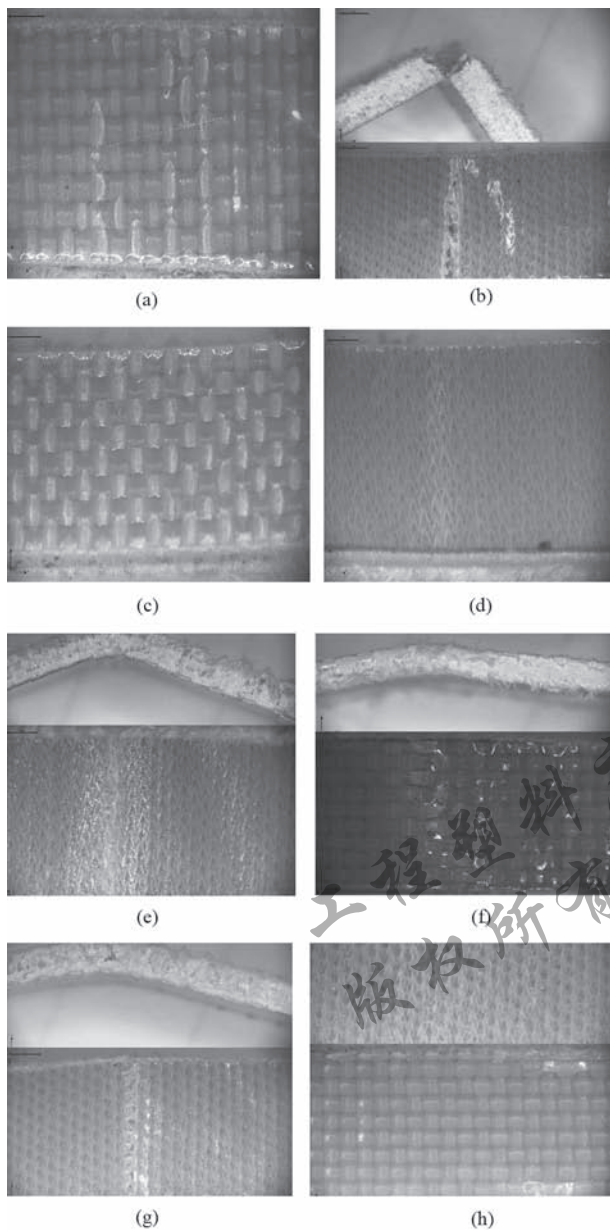
图 7 芳纶纤维环氧树脂复合材料的冲击强度

材料的冲击性能也有较大变化。如在经向方向上, ABBA 和 ABAB 铺层方式的 WKHS 复合材料有较好的抗冲击性能,而 BAAB 和 AABB(A) 铺层方式的 WKHS 复合材料的冲击强度较小。这是因为,复合材料受到外力冲击时,当外层或受力面为机织物时,由于机织物较好的拉伸性能和稳定性,使纺织复合材料受到冲击时可以较好地保持形态稳定,并将载荷向内传递,此时内层针织物吸收了外力冲击能量,使复合材料的抗冲击性能提高。而当复合材料外层或受力面为针织物时,由于针织物的拉伸强度小于机织物,在吸收能量的同时发生纤维束破损,使复合材料的抗冲击性能下降。

纬向方向上,由于受罗纹结构增强体结构的影响, WKHS 复合材料的抗冲击性能有一定程度下降,但经混合铺层后 WKHS 复合材料的纬向冲击强度均大于罗纹结构复合材料的冲击强度。当采用相同的铺层结构,受力面为罗纹结构时, WKHS 复合材料具有较好的抗冲击性能。因为罗纹织物纬向冲击时经向线圈减少,影响了对冲击能量的吸收。图 8 为芳纶纤维环氧树脂复合材料纬向冲击后试样形态。从图 8 可知,罗纹结构复合材料受冲击时,纱线断裂,复合材料破损严重。

3 结论

机织结构与针织结构预成型体混合铺层可以提高树脂对纺织复合材料的浸润性,同时通过合理调整混合预成型体的铺层顺序,混合铺层方式可以使纺织复合材料的综合性能得到改善,特别是对纺织复合材料的弯曲强度和冲击强度有较大影响。与罗纹结构复合材料相比,最优铺层顺序下的 WKHS 复合材料的纬向弯曲强度提高了 1.14 倍,纬向冲击强度提高了 5.19 倍。但铺层顺序对四层层压复合材料的拉伸强度基本无影响。载荷受力面也对 WKHS 复合材料的弯曲强度和冲击强度有较大影



a—AAAA ; b—BBBB ; c—ABBA ; d—BAAB ;
e—ABAB(A) ; f—ABAB(B) ; g—AABBA ; h—AABBB(B)

图8 芳纶纤维环氧树脂复合材料纬向冲击后试样形态

响。采用相同铺层方式,当受力面为罗纹结构时,WKHS 复合材料表现出更优的弯曲强度和冲击强度。说明适当调整混合铺层层数和铺层顺序可以有效提高纺织复合材料的综合力学性能。

参考文献

- [1] 马丕波,蒋高明,高哲,等. 纺织结构复合材料冲击拉伸研究进展[J]. 力学进展,2013,43(3):329-357.
Ma Pibo, Jiang Gaoming, Gao Zhe, et al. Advances in impact tensile properties of 3-D textile structural composites[J]. Advances in Mechanics, 2013, 43(3):329-357.
- [2] 代彦彦,张国利. 现代纺织复合材料概述[J]. 纺织科技进展, 2020(4):1-16.
Dai Yanyan, Zhang Guoli. Overview of modern textile composites [J]. Progress in Textile Science & Technology, 2020(4):1-16.
- [3] 马丕波,朱运甲,高雅,等. 针织结构复合材料的应用与发展[J]. 玻璃纤维,2014(1):5-10.
Ma Pibo, Zhu Yunjia, Gao Ya, et al. Application and development of knitted composites[J]. Fiber glass, 2014(1):5-10.
- [4] 杨燕宁,孟家光,程燕婷,等. 纬编针织交织复合材料的制备工艺研究[J]. 染整技术,2019,41(4):56-62.
Yang Yanning, Meng Jiaguang, Cheng Yanting, et al. Study on the preparation technology of weft-knitted-interwoven composites[J]. Textile Dyeing and Finishing Journal, 2019, 41(4):56-62.
- [5] 梁佳玉,秦志刚. 碳纤维衬纬编针织物增强复合材料的拉伸性能[J]. 玻璃钢/复合材料,2018(11):87-91.
Liang Jiayu, Qin Zhigang. Tensile properties of carbon fiber weft inlay knitted fabric reinforced composites[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2018(11):87-91.
- [6] Rajesh M, Pitchaimani J. Dynamic mechanical and free vibration behavior of natural fiber braided fabric composite: Comparison with conventional and knitted fabric composites[J]. Polymer Composites, 2018, 39(7):2 479-2 489.
- [7] Michel S, Christoph G. Calibrated modeling of knitted fabric as a means of simulating textile hybrid structures[J]. Procedia Engineering, 2016, 155:297-305.
- [8] 袁新林,徐艳华,胡红. 机织针织复合织物的拉伸性能[J]. 纺织学报,2011,32(11):33-36.
Yuan Xinlin, Xu Yanhua, Hu Hong. Tensile properties of co-woven-knitted fabrics[J]. Journal of Textile Research, 2011, 32(11):33-36.
- [9] 徐艳华,袁新林,胡红. 机织针织复合结构增强复合材料的拉伸性能[J]. 东华大学学报,2011,37(11):42-45.
Xu Yanhua, Yuan Xinlin, Hu Hong. Tensile properties of co-woven-knitted fabric reinforced composites[J]. Journal of Donghua University, 2011, 37(11):42-45.
- [10] Xu Yanhua, Yuan Xinlin, Wang Ni, et al. Comparison of bending properties co-woven-knitted and multi-layered biaxial weft-knitted fabric reinforced composites[J]. Fiber and Polymers, 2014, 15(6):1 288-1 294.
- [11] 潘虹,马丕波. 机织针织混编复合材料的冲击拉伸性能及有限元模拟[J]. 东华大学学报,2013,39(3):265-270.
Pan Hong, Ma Pibo. Tensile impact behaviors of co-woven-knitted composites and finite element calculation[J]. Journal of Donghua

- University, 2013, 39(3):265–270.
- [12] Ma Pibo, Jiang Gaoming, Yu Lijuan, et al. Mechanical properties of co-woven-knitted fabric / epoxy composites incorporating carbon nanotubes[J]. *Fibers and Polymers*, 2015, 16(1):223–229.
- [13] Waqas A, Yasir N, Muhammad U, et al. Investigation of mechanical behavior of woven / knitted hybrid composites[J]. *Journal of the Textile Institute*, 2017, 108(9):1 510–1 517.
- [14] 王彦杰,孟家光,张琳玫,等. 芳纶针织物复合材料力学性能研究[J]. *合成纤维*, 2016, 45(10):11–14.
- [15] Wang Yanjie, Meng Jianguang, Zhang Linmei, et al. Study on mechanical properties of aramid fiber knitted fabric reinforced composites[J]. *Synthetic Fiber in China*, 2016, 45(10):11–14.
- [15] Awais H, Nawab Y, Anjang A, et al. Effect of fabric architecture on the shear and impact properties of natural fibre reinforced composites[J]. *Composites Part B Engineering*. 2020, 195(8). doi:10.1016/j.compositesb.2020.108069.

投稿须知

1 稿件内容

稿件应注重科学性、实用性及时效性,要求技术新颖,论点明确,论据可靠,数据准确,文字通顺、简练。稿件内容必须真实,避免抄袭,请作者文责自负。引用他人成果时,请按《著作权法》有关规定说明出处。内容应未曾发表过或被其他出版物刊载过,且无一稿多投。

2 稿件要求

凡属于重大科技获奖的论文和重点项目资助的论文,请在来稿第一页注明名称及批准号,本刊将优先刊登。

(1) 题目、作者署名及单位。题目力求简明、醒目,反映出文章的主题,一般不超过 20 个汉字。作者姓名在题目下按序排列,不同工作单位的作者,应在姓名右上角加注阿拉伯数字序号。作者单位须写全称并注明省份、城市和邮政编码。联系人信息(包括姓名,学历或职称,主要研究方向)注在第一页下方。

(2) 摘要及关键词。论文需要同时提供中文和英文摘要,摘要以提供论文的内容梗概为目的,不加评论和补充解释,应简明、确切地论述研究目的、原理和结论,具有相对独立性。中文和英文摘要均要求采用报道性摘要类型。具体要求:中英文摘要均为一段式,内容比较具体,一般需要列举关键数据。中英文摘要内容基本一致,中文摘要以 200~300 字为宜,英文摘要可略详。关键词要求 3~8 个。

(3) 正文。正文各部分都应简洁明了。层次标题一律用阿拉伯数字连续编号,尽量减少层次;不同层次的数字之间用小圆点相隔,末位数字不加标点符号。如“1”,“1.1”等。文中量、单位及符号的使用应符合国际标准和国家标准。

(4) 图表。图表要设计合理,简单自明。每一幅图都应有图序和简短确切的图名,横纵坐标均要注明物理量及其单位,线条图要用矢量格式的图,或将 *.opg, *.dwg, *.eps 等格式的图打包压缩随投稿一起上传。表格请使用三线表,每一表格都应有表序和简短确切的表题。图表标题一律用中文表达。

(5) 参考文献。以作者亲自阅读过的主要原始文献为限,不可引用非公开出版或发表的文献,不能引用其他文章中引用的但未经核对原文的文献,要注意引用最新的文献。参考文献要有一定的数量,研究性论文至少 16 篇。参考文献的著录按文章中引用的顺序依次排列,中文参考文献要有对照英文部分(英文部分不编号)。无论中外文的作者,一律采用姓前名后的形式著录;作者不超过 3 人时可全部著录,超过 3 人时,只著录前 3 位,其后加“等”或“et al”。综述类论文的参考文献著录项目适当简化,可参见本刊相关栏目文章样式。作者对所引文献的准确性和完整性负责。

3 投稿方式

请作者登陆杂志社网站 <http://www.epa1973.net>, 点击“作者投稿”后投稿。来稿请注明详细地址、电话、邮箱等信息,便于通知联系。一般一个月左右可以查询稿件审理意见,超过 3 个月未收到修改意见或回复的可自行处理。

4 注意事项

为适应我国信息化建设需要,扩大学术交流渠道,本刊已编入国内外著名数据库。稿件一经录用,将同时被数据库收录,作者著作权使用费与本刊稿酬一次性给付。如作者不同意收录,请在投稿时声明,否则将视为同意。