

文章编号:1006-3080(2014)04-0427-06

玻纤网格布增强 PC 复合片材的制备及其拉伸性能

王剑磊, 沈春银, 吉华建, 邱春亮, 戴干策

(华东理工大学化学工程联合国家重点实验室, 上海 200237)

摘要:采用热压成型工艺制备了玻纤网格布增强聚碳酸酯(PC)复合片材,考察了铺层结构、铺层角、增强纤维面密度及基体薄膜厚度对复合片材拉伸性能的影响。结果表明,增强玻纤网格布与基体膜的交替叠层为适宜的铺层结构;拉伸性能随铺层角增大而下降;低面密度的玻纤网格布适宜制备低面密度的“薄型”复合片材;采用厚度较小的基体膜可以制得拉伸性能较好的复合片材。扫描电子显微镜(SEM)分析表明交替的铺层结构有利于基体对低面密度增强纤维的束内浸渍,从而提高片材的拉伸性能。

关键词:玻纤网格布; 聚碳酸酯; 铺层结构; 拉伸性能

中图分类号:TQ327

文献标志码:A

Preparation and Tensile Property of Fiberglass Mesh Reinforced PC Composites

WANG Jian-lei, SHEN Chun-yin, JI Hua-jian, QIU Chun-liang, DAI Gan-ce
(State Key Laboratory of Chemical Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: Composite sheets of fiberglass mesh reinforced polycarbonate were prepared by hot compress molding. The effects of lay-up structure, lay-up angle, area density of fiberglass mesh and the thickness of PC film on tensile property were studied. The results reveal that the alternative lay-up structure of reinforcement mesh and matrix film is optimal and tensile property declines as lay-up angle increases. Fiberglass mesh with lower area density is appropriate for thinner composites. Composite sheets fabricated with thinner PC film show better tensile property. SEM analysis shows that alternative lay-up structure is favorable to the immersion of the fiber bundle of fiberglass mesh with low area density in the melting matrix, and thus the improvement of tensile property.

Key words: fiberglass mesh; polycarbonate; lay-up structure; tensile property

纤维增强热塑性复合材料因其具有良好的力学性能、较低的密度、易于成型加工、制品结构可设计性好及存储限制少等特性,满足了材料轻量化、节能减排的现代技术及产品发展需求,拓展了复合材料

的应用领域,成为目前复合材料研究的热点。在所有纤维增强热塑性复合材料中,玻纤价格低廉,力学性能好,具有较高的性价比^[1],在热塑性复合材料应用中约占 50%以上,并仍有上升的趋势。

收稿日期:2013-11-01

基金项目:国家自然科学基金(21376086)

作者简介:王剑磊(1989-),男,浙江杭州人,硕士生,研究方向为纤维增强聚合物基复合材料。E-mail:wang_jian_lei@163.com

通信联系人:沈春银,E-mail:ichuny@ecust.edu.cn

玻纤增强热塑性复合材料按纤维形态可分为短玻纤(SFT)、长玻纤(LFT)和玻纤毡(GMT)3 种类型^[2],这 3 类玻纤增强热塑性复合材料的市场化进程较为迅速,在很多领域都有广泛应用,包括汽车、机械、航空航天等^[3],涉及的热塑性聚合物基体包括聚丙烯(PP)、聚乙烯(PE)、聚酰胺(PA)等。采用挤出方式进行短玻纤增强 PC 复合材料的制备与性能的研究已有较多报道^[4-6],对 PC 采用环氧树脂改性以提高玻纤复合材料性能的报道亦较多^[7-8],但大多材料的拉伸力学性能较低或掺杂热固性组分。玻纤网格布是玻纤织物中最简单的一种形式,价格较低廉,用作增强体时成本较低^[9]。玻纤织物增强热塑性复合材料可认为是第 4 代玻纤增强热塑性复合材料,与之前 3 种热塑性复合材料相比,强度、模量都有很大的优越性,且在经向和纬向两个方向都有增强。玻纤网格布所具有的特定经纬结构,需要在制备过程中予以保留,且须有适宜的复合结构才能使基体树脂在玻纤束间及束内润湿流动,以获得良好的浸渍效果,从而获得满意的力学性能。但热塑性树脂熔体黏度较大,尤其是高熔点的热塑性树脂如 PA、PC 等,不易完成玻纤束内浸渍,所以目前玻纤网格布应用多集中在热固性复合材料^[10],如建筑保温材料、防水卷材等,玻纤网格布增强热塑性复合材料的相关研究较少。

利用复合材料力学性能的可设计性特点,按照不同方向上对材料刚性和韧性的不同要求,通过组分设计和配方设计可进一步提高其力学性能^[11-12]。本文以 PC 薄膜为基体,玻纤网格布为增强纤维,设计基体与增强体的铺层叠合结构,采用热压工艺进行浸渍以制备复合片材,考察了片材铺层结构、铺层角、增强纤维面密度及基体薄膜厚度对拉伸性能的影响,并对界面微观结构进行了分析。

1 实验部分

1.1 原材料

玻纤网格布:E-玻璃纤维,单丝直径 17 μm,面密度分别为 160、200、300、400、600 g/m²,泰山玻璃纤维有限公司;PC 薄膜:厚度分别为 0.125、0.250 mm,拜耳材料科技(中国)有限公司。

1.2 主要设备与仪器

平板硫化机:YX-25 型,上海西玛伟力模塑机械有限公司;万能试验机:Instron 3367;扫描电镜:JSM-6360LV 型,日本电子公司。

1.3 片材制备

将一定尺寸的 PC 薄膜和玻纤网格布,按照设定的铺层结构,在设定的温度、压力下在平板硫化机上热压浸渍并固化成型,取出,自然冷却后脱模获得所需片材。由于片材首次损伤多发生于最大铺层角的铺层中,且片材中铺层角较小的铺层相比其他铺层后出现首次损伤^[13-15],故实验采用同一铺层角。

1.4 性能测试与界面结构表征

(1) 力学性能。根据 ISO527-2 标准制作拉伸样条。测试条件:初始载荷 5 N,初始速率 10 mm/min,加载速率 15 mm/min。每种试样测定 5 个。

(2) 界面结构表征。将试样经液氮淬断和喷金处理后用扫描电镜观察其界面形态结构。

2 结果与讨论

2.1 铺层结构对复合片材的拉伸性能的影响

制备复合材料时基体 PC 需要熔融并完成其在增强体玻纤上的润湿浸渍。这一过程的完善程度除与制备的温度、压力条件有关外,还与熔融基体的流动路径长短、初始接触面积与接触概率等有关。选用的玻纤网格布的面密度分别为 200、300、400、600 g/m²,PC 薄膜的面密度为 140、280 g/m²。设计的片材铺层结构如图 1 所示。图 1(a)为双层 PC 薄膜与高面密度玻纤网格布复合的“双层膜结构”,图 1(b)为中面密度玻纤网格布复合的外侧为单层 PC 薄膜内部为双层 PC 薄膜的“外侧单层膜结构”,图 1(c)为中面密度玻纤网格布复合的“中心双层 PC 膜”,图 1(d)为低面密度玻纤网格布与 PC 薄膜复合的“交替结构”。

4 种铺层结构复合片材的玻纤质量分数及空隙率结果列于表 1。A、B、C 这 3 种铺层结构同片材的玻纤质量分数接近。D 结构则因玻纤网格布与基体的交替铺层结构中基体多一层,因而片材中的玻纤质量分数有所降低。片材空隙率结果表明,交替铺

表 1 不同铺层结构片材的玻纤网格布

Table 1 Fiberglass mesh with different lay-up structures

Laminate	Area density of fiberglass mesh/(g·m ⁻²)	w/%	Void ratio/%
A	600	39.3	4.5
B	400	38.7	4.1
C	300	38.4	4.7
D	200	36.5	3.2

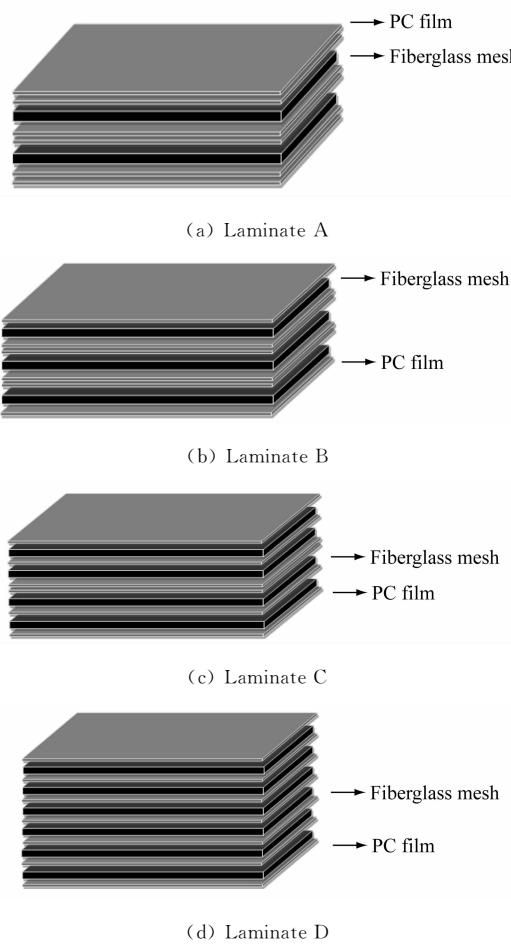


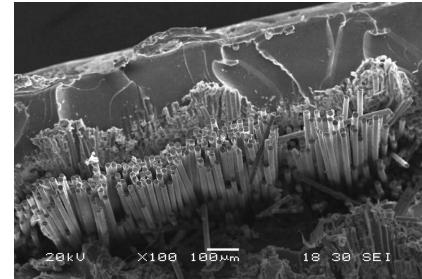
图1 复合材料铺层结构

Fig. 1 Lay-up structures of composite

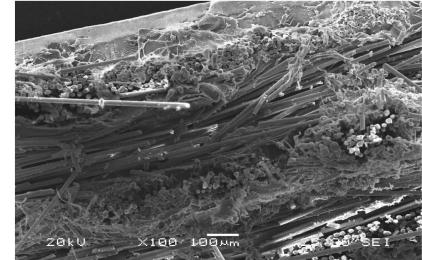
层的D结构空隙率最低,A、B、C3种铺层结构的片材空隙率相对于D结构均有所增大。这应与D铺层结构中熔融的基体与玻纤增强体有较大的接触面和较短的流动路径有关,使其具有良好的浸渍效果。这亦与A、D两种片材的断面SEM形态结构(图2)一致。A及D铺层结构复合片材的SEM断面形态结构表明,面密度高的玻纤网格布中的玻纤束(A结构)在加热、加压的浸渍过程中堆积紧密,纤维束内玻纤根数多,基体大多只能包裹纤维束外部,基体及纤维层均相对较厚;而在低面密度玻纤网格布与基体交替铺层的D结构中,基体与玻纤层均相对较薄,基体能够有较多的量浸渍渗透到玻纤束内,具有较好的束内浸渍效果。较薄的外侧基体层有利于将应力传递至刚性的玻纤上,从而有利于模量的提高且对强度的损失有限。

采用4种铺层结构设计制得的复合片材的拉伸性能如图3所示。图3结果表明,铺层结构对拉伸强度及模量的影响不完全相同。铺层结构中局部基体的质量分数越高,其复合片材的拉伸强度越高,A、B、C3种铺层结构中均含有双层基体膜,其中C

结构的双层基体质量分数较低,而D结构则为交替的单层基体膜。C结构的复合片材的拉伸强度略高于D结构的复合片材,而低于A、B结构的片材拉伸强度。铺层结构对复合片材拉伸模量的影响则表现为:外层局部基体质量分数低,有利于模量的提高。D结构复合片材为交替的铺层结构,其模量高出A、C铺层结构60%、高出B铺层结构30%。



(a) Laminate A



(b) Laminate D

图2 片材A及D拉伸断面的扫描电镜照片

Fig. 2 SEM of tensile fracture of laminate A and D

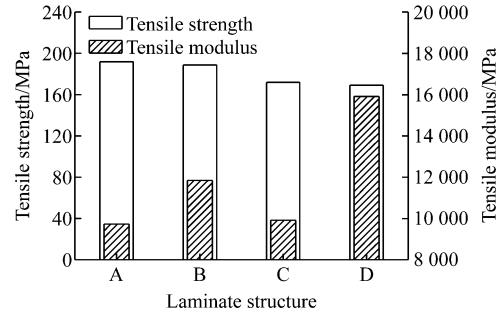


图3 不同面密度玻纤网格布的片材拉伸性能比较

Fig. 3 Tensile property of laminate with fiberglass mesh of different area density

综上所述:采用低面密度的玻纤网格布有利于增加其与基体浸渍时的接触面积,缩短浸渍流动路径;与基体薄膜交替的D铺层结构则有利于基体对增强体的束内浸渍,降低复合片材的空隙率。因此,降低玻纤网格布的面密度,采用与基体交替铺层的初始物理结构有利于基体浸渍和拉伸性能的改善与提高,以下研究中均采用交替铺层的D结构。

2.2 铺层角对复合片材的拉伸性能的影响

采用0.250 mm PC薄膜和较低面密度(200、

300 g/m^2 的网格布, 按一定的铺层角, 以上述的 D 结构制备复合片材。因为玻纤网格布在片材的经纬两向均有增强, 故纤维伸直方向与载荷方向最大夹角为 45° 。获得的拉伸性能如图 4 所示。

由图 4 可以看出, 随着铺层角的增大, 拉伸强度呈下降趋势, 且下降幅度逐渐变小。拉伸模量亦相同, 但下降的趋势更明显, 且玻纤面密度越大, 下降幅度越大。由于增强纤维与载荷方向不在同一直线

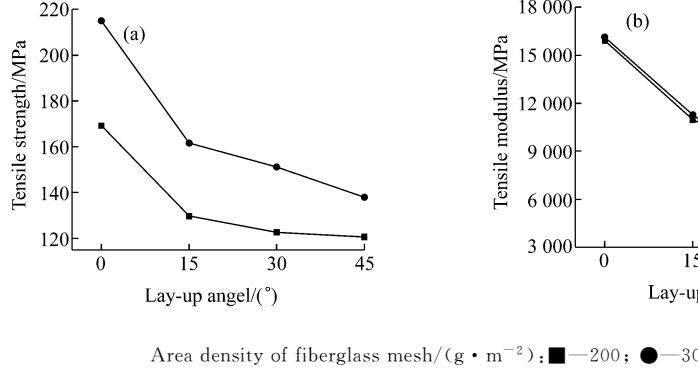


图 4 不同铺层角度的复合片材的拉伸性能
Fig. 4 Tensile property of laminates with different lay-up angles



图 5 拉伸试样的牵伸现象

Fig. 5 Drafting phenomenon of tensile sample

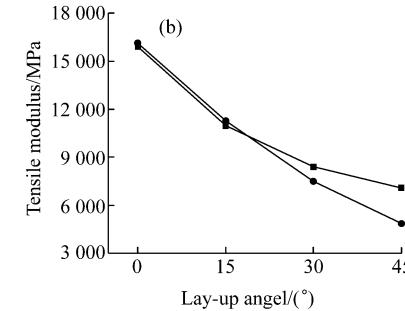
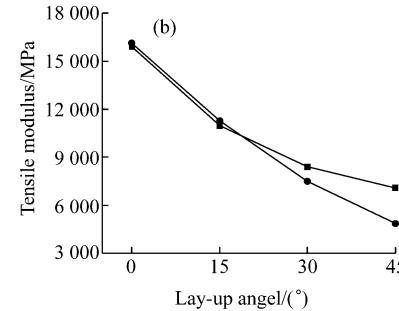
2.3 玻纤面密度对复合片材的拉伸性能的影响

依据铺层结构设计结果, 低面密度玻纤网格布增强 PC 有利于片材拉伸性能的提高。本节以厚度 0.250 mm 的 PC 薄膜为基体, 采用面密度为 160 、 300 g/m^2 的玻纤网格布进行增强, 按照上述 D 铺层结构制备复合片材。获得的片材拉伸性能结果如图 6 所示。图 6 中复合片材的面密度增加, 表示基体 PC 与增强体玻纤网格布交替铺层数量增加, 且两种复合片材的铺层数量相同。由图 6 可知, 当玻纤网格布的面密度为 300 g/m^2 时 PC 复合材料的拉伸强度要高于玻纤面密度为 160 g/m^2 时的拉伸强度。前者的拉伸强度随片材面密度的增加而上升, 后者则随片材面密度的增加而下降; 拉伸模量亦如此, 但上升或下降的趋势更明显。

两种复合片材的拉伸性能的差别与玻纤质量分数密切相关, 玻纤面密度 300 g/m^2 的复合片材的玻纤质量分数高出玻纤面密度 160 g/m^2 的复合片材

上, 基体与纤维的界面在拉伸载荷作用下直接发生剧烈破坏, 但在一定程度上两向纤维束的存在对界面破坏有一定抑制作用。随着拉伸载荷的进一步加大, 界面破坏加剧, 靠近拉伸载荷方向的纤维束与拉伸载荷的夹角逐渐减小至 0° , 发生牵伸现象。

图 5 所示为发生牵伸现象断裂的拉伸试样, 从图中可以看出中间平行段表面凹凸不平, 界面破坏严重。



约 50%。为统一玻纤质量分数基准, 定义单位玻纤质量分数的拉伸性能为拉伸性能因子, 如单位玻纤质量分数的拉伸强度即为拉伸强度因子, 符号为 TSI, 单位为 MPa; 相应地定义拉伸模量因子, 符号为 TMI, 单位为 MPa。采用拉伸性能因子表示的玻纤面密度对拉伸性能的影响结果见图 7。

由图 7 的拉伸性能因子可以看出, 虽然以玻纤面密度为 160 g/m^2 增强的 PC 复合片材的拉伸性能随片材面密度的增强呈现下降趋势, 但在片材面密度低于 3700 g/m^2 的片材中, 其拉伸性能因子高于 300 g/m^2 玻纤增强 PC 复合片材的拉伸性能因子。由图 7 可见, 300 g/m^2 玻纤复合片材的拉伸强度因子较为稳定, 其拉伸模量因子随片材面密度的增加而上升, 但在片材面密度 3000 g/m^2 以上其增长趋势大为减弱。综合图 6 及图 7 的结果表明: 采用增强体及基体交替的铺层结构, 低面密度的玻纤网格布增强 PC 适合制备低面密度的复合片材, 即

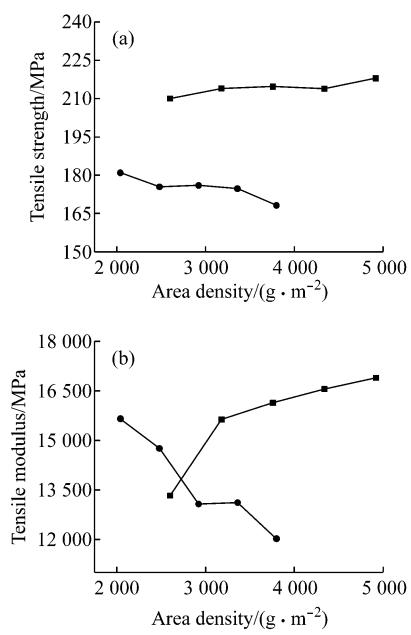
Area density of fiberglass mesh/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$: ■—300; ●—160

图6 不同面密度复合片材的拉伸性能

Fig. 6 Tensile property of laminates with different area densities

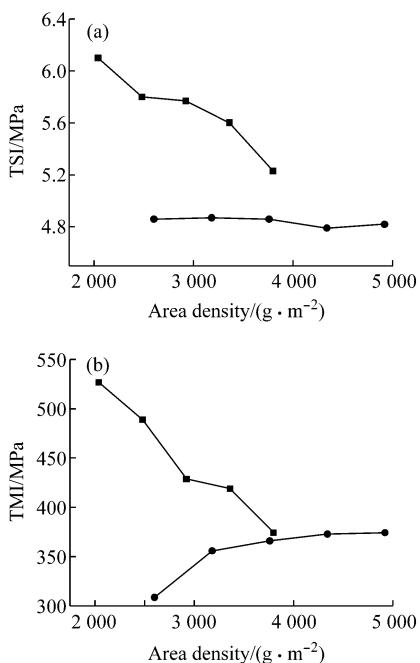
Area density of fiberglass mesh/ $(\text{g} \cdot \text{m}^{-2})$: ■—300; ●—160

图7 不同面密度复合片材的拉伸性能因子

Fig. 7 Tensile property index of laminates with different area densities

“薄型”复合片材;而较高面密度的玻纤网格布则适合于制备高面密度的复合片材,即“厚型”复合片材。从满足拉伸性能、降低片材质量的角度考虑,则应该尽量采用低面密度的增强体以制备增强PC复合材料。

2.4 基体厚度对复合片材拉伸性能的影响

以两种不同厚度的PC薄膜作为基体与两种面密度规格的玻纤网格布按交替铺层结构制备复合片材,获得基体厚度对拉伸性能的影响结果,如图8~图9所示。图中各复合片材对应的交替铺层数量相同,所得到的复合片材的面密度随铺层数量的增加而增大。

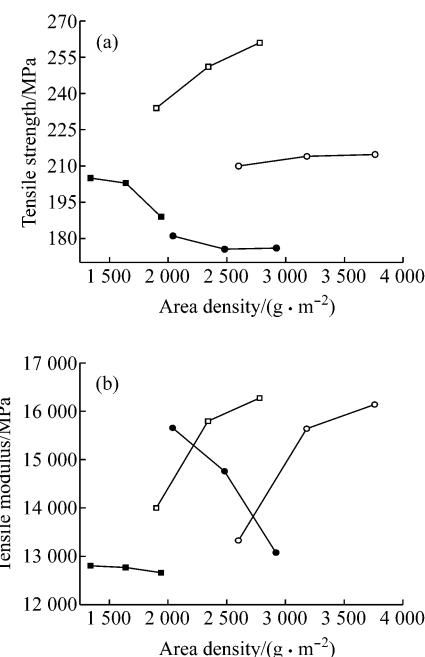
Solid and hollow icons represent area density of fiberglass mesh 160 g/m^2 and 300 g/m^2 , respectively; Thickness/mm: ■, □—0.125; ●, ○—0.250

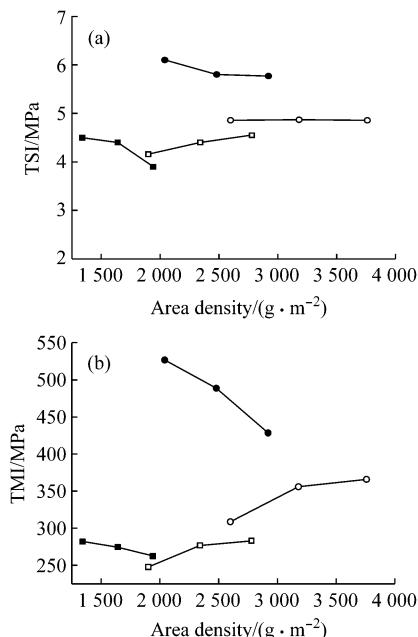
图8 不同基体厚度的复合片材的拉伸性能

Fig. 8 Tensile property of laminates with different matrix film thickness

由图8可见,基体厚度较小的玻纤增强PC复合片材有较高的拉伸强度,玻纤面密度的变化不改变此特征。但是低面密度的玻纤网格布需配合使用较厚的基体薄膜制备复合片材以获得较高的拉伸模量,而较高面密度的玻纤与薄型基体复合则拉伸模量更高。因图8的结果包含了玻纤质量分数的因素,为消除这一影响,采用拉伸性能因子表示,获得图9所示的结果。由图9可以看出:采用厚度较小的PC基体膜,复合片材的拉伸性能因子受玻纤面密度的影响不大;采用较厚的PC基体膜时,玻纤面密度低的拉伸性能因子大。

图8及图9的结果表明,采用较高面密度的玻纤配合较低厚度的PC膜制备复合片材,可以有较高的玻纤质量分数,从而有较高的拉伸强度,而拉伸模量则有一定的复杂性。但在控制复合片材玻纤质量分数的情况下,“薄型基体”的复合片材的拉伸性

能因子对玻纤增强体的面密度变化不敏感;采用“厚型”基体膜制备复合片材时仍宜采用较低面密度的玻纤网格布增强体以提高拉伸性能因子。这与复合材料中的增强体必须有基体的充分浸渍以传递载荷从而提高力学性能的基本分析一致。



Solid and hollow icons represent area density of fiberglass mesh 160 g/m² and 300 g/m², respectively; Thickness/mm: ■, □—0.125; ●, ○—0.250

图9 不同基体厚度的复合片材的拉伸性能因子

Fig. 9 Tensile property index of laminates with different matrix film thickness

3 结 论

(1) 玻纤网格布增强PC复合片材因增强体的织物结构特性而需要进行铺层结构设计,以改善基体对增强体的浸渍效果。以平板硫化机进行热压浸渍制备玻纤网格布增强PC复合片材,其适宜的铺层结构为基体与增强体的交替叠层结构。

(2) 片材的拉伸性能随着铺层角的增大而下降,且玻纤网格布面密度越大,拉伸性能的降幅也越大,拉伸模量的下降趋势较拉伸强度更明显。

(3) 采用单位玻纤质量分数的拉伸性能,即拉伸性能因子,可以简化铺层结构与玻纤质量分数对拉伸性能的评价基准。由此可以认为,低面密度的玻纤网格布适宜制备“薄型”的复合片材,而较高面密度的玻纤网格布则适宜制备“厚型”复合片材并获得良好的拉伸性能。

(4) 薄型的PC基体膜可以在较宽的玻纤面密度变化范围内获得性能良好的复合片材。较厚的基

体薄膜与低面密度的玻纤网格布复合有利于拉伸性能的提高。

参 考 文 献:

- [1] Etcheverry M, Ferreira M L, Capiati N, et al. Chemical anchorage of polypropylene onto glass fibers: Effect on adhesion and mechanical properties of their composites[J]. International Journal of Adhesion and Adhesives, 2013, 43(6):26-31.
- [2] Dayananda Jawali, Siddaramaiah N, Siddeshwarappa B, et al. Polycarbonate/short glass fiber reinforced composites—physico-mechanical, morphological and FEM analysis [J]. Journal of Reinforced Plastics and Composites, 2007, 27(3):313-319.
- [3] 方鲲,吴丝竹,李玫,等.长纤维增强热塑性复合材料与短纤维增强热塑性复合材料的性能对比[C]//2012年中国工程塑料复合材料技术研讨会论文集.南京:中国工程塑料工业协会,2012:100-104.
- [4] 朱亚峰.玻璃纤维增强PC/PBT共混体系力学性能的研究[J].工程塑料应用,2009,37(9):22-25.
- [5] 杨革生,梁培亮,杨桂生.玻璃纤维增强PBT/PC共混体系的研究[J].工程塑料应用,2004,32(7):8-11.
- [6] 徐东.一种玻纤增强PC复合材料及其制备方法:中国,201010227882[P].2010.
- [7] 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,2009,11(5):42-45.
- [8] 容敏智,曾汉民. PC/Ep单向纤维复合材料的力学性能与界面优化[J].高分子材料科学与工程,1999,11(2):40-46.
- [9] Russo P, Acierno D, Simeoli G, et al. Flexural and impact response of woven glass fiber fabric/polypropylene composites[J]. Composites: Part B. Engineering, 2013, 54(11):415-421.
- [10] Hufenbach W, Böhm R, Thieme M, et al. Polypropylene/glass fibre 3D-textile reinforced composites for automotive applications[J]. Materials & Design, 2011, 32(3):1468-1476.
- [11] Kalamkarov A L, Kolpakov A G. Design problems for the fiber-reinforced composite materials[J]. Composites: Part B. Engineering, 1996, 27(5):485-492.
- [12] AlMaadeed M A, Ouederni M, Noorunnisa Khanam P. Effect of chain structure on the properties of glass fibre/polyethylene composites[J]. Materials & Design, 2013, 47(5):725-730.
- [13] 王丹勇,温卫东,崔海涛.含孔复合材料层合板静拉伸三维逐渐损伤分析[J].力学学报,2005,37(6):788-795.
- [14] Varna J, Joffe R. Damage in composite laminates with off-axis plies[J]. Composites Science and Technology, 1999, 59(14):2139-2147.
- [15] Selvarathinam A S, Weitsman Y J. A shear-lag analysis of transverse cracking and delamination in cross-ply carbon-fibre/epoxy composites under dry, saturated and immersed fatigue conditions[J]. Composites Science and Technology, 1999, 59(14):2115-2123.