

缝合对碳纤维复合材料性能影响研究

于倩倩 陈 刚 郑志才 崇 琳 吴忠泉 王 忠

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 利用芳纶纤维对碳纤维增强环氧树脂复合材料进行缝合,研究了缝合密度、缝合方向和缝合线直径等缝合参数对复合材料拉伸性能、弯曲性能和层间剪切性能的影响。结果表明,缝合密度和缝合方向对材料性能影响较大,材料经缝合后拉伸性能和弯曲性能下降,层间剪切性能提高。

关键词 缝合 复合材料 工艺参数

先进树脂基复合材料具有比强度高、可设计性好等优异特性^[1],自20世纪60年代以来在飞机结构和其它军民用结构中得到了广泛应用^[2],但其应用形式大多为层合结构,铺层之间缺少增强纤维,层间强度大致与树脂基体强度相当,在受到外力作用时,易发生层间开裂,降低了结构的整体强度和刚度,导致其在一些复杂结构件上的应用受到限制。缝合技术是提高复合材料层间性能的最有效途径之一^[3],在厚度方向上的缝合线能够明显地提高层间破坏刚度^[4-5]和抗冲击容限^[6]。目前,工业发达国家已在缝合复合材料力学性能理论分析和实验方法等方面取得许多成果^[7-9]。缝合复合材料已经被广泛应用于飞机机壳、翼板和叶片的加强件及民用结构的工字梁、汽车部件等方面^[10]。笔者利用芳纶纤维对碳纤维增强环氧树脂(EP)复合材料进行缝合,研究了缝合参数对材料拉伸性能、弯曲性能及层间剪切性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

连续碳纤维[T700(12 K)]、平纹碳纤维布[T300(3 K)]:日本东丽公司;

改性TDE-85 EP:自制;

Kevlar 芳纶纤维:线密度分别为1 000 D、2 000 D,台州市鑫隆石化机械厂。

1.2 仪器、设备

缠绕机:V6-3FW-1300型,上海万格复合材料技术公司;

大型厚料机:GB4-3型,上工集团股份有限公司;

平板硫化机:25t,上海伟力机械厂;

万能试验机:WE-10B型,长春试验机厂。

1.3 试样制备

采用配制好的EP胶液和碳纤维,利用湿法缠

绕技术在缠绕机上制备预浸料,铺层后利用大型厚料机对预浸料进行缝合,最后利用平板硫化机模压成型试样。

1.4 性能测试

拉伸性能按GB/T 1447-2005测试,拉伸速度为2 mm/min;

弯曲性能按GB/T 3356-1999测试,弯曲速度为5 mm/min,弯曲跨度根据试样厚度调节;

层间剪切性能按JC/T 773-1996测试,加载速度为1 mm/min,跨距为10 mm。

2 结果与讨论

2.1 缝合参数对材料拉伸性能的影响

(1) 缝合方向

表1、表2示出缝合方向对碳纤维布增强EP复合材料拉伸性能的影响,其中缝合密度为每平方厘米面积上缝合的针数。由表1、表2可以看出,相对于未缝合材料,0°缝合材料拉伸强度下降33.4%,45°缝合材料下降53.1%,90°缝合材料下降48.2%。这说明缝合方向与加载方向相同时测得的强度高于当缝合方向与测试方向呈其它角度时的相应值,缝合复合材料的拉伸性能对纤维的扰动和缝合线与载荷的作用方向很敏感。

表1 0°缝合对碳纤维布增强EP复合材料拉伸性能的影响

编号	缝合密度/st·cm ⁻²	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	备注
W1-4	0.833	558	65.1	2 000 D缝合线
W1-1		838	66.5	未缝合

表2 45°、90°缝合对碳纤维布增强EP复合材料拉伸性能的影响

编号	缝合密度/st·cm ⁻²	缝合方向/(°)	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	备注
DL			726.4	69.2	未缝合
W2-1	0.833	90	376.4	60.1	2 000 D缝合线
W2-2	0.833	45	340.4	61.4	2 000 D缝合线

(2) 缝合密度

图 1 示出缝合密度(采用 2 000 D 缝合线)对碳纤维增强 EP 复合材料拉伸性能的影响。

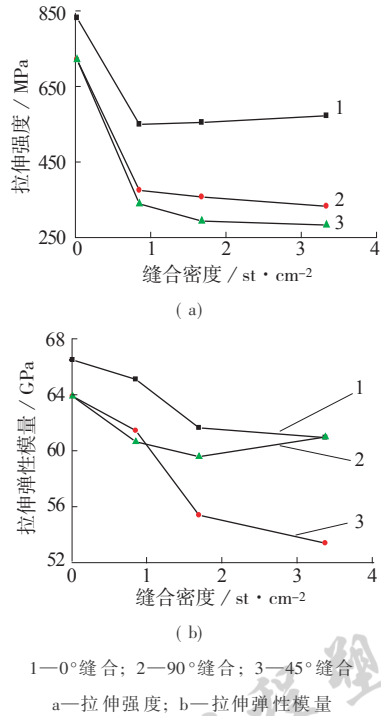


图 1 缝合密度对碳纤维增强 EP 复合材料拉伸性能的影响

从图 1 可以看出,复合材料经缝合后拉伸强度和拉伸弹性模量均有不同程度地降低。当 0°缝合时,复合材料拉伸强度较未缝合材料的最大降幅为 34%。当 45°、90°缝合时,复合材料的拉伸强度随缝合密度的增加呈先迅速降低而后降幅减缓趋势,当缝合密度为 3.333 st/cm² 时,降幅分别为 60%、54%。这是因为预浸料在缝合过程中,部分纤维因受到缝针不同程度的损伤,导致缝合后材料的拉伸强度和拉伸弹性模量大幅度下降。随着缝合密度的增加,纤维受到的损伤程度增加,材料的拉伸强度迅速降低,而缝合密度的增加又可以使材料的抗分层能力增加,这两者的交互作用使得材料拉伸强度在缝合密度达到一定程度时降幅不明显。而当 0°缝合时,在纵向拉伸载荷下,缝合方向与受力方向一致,在拉伸过程中,缝合线会通过自身变形及其与树脂基体发生脱粘而产生的摩擦来吸收能量,从而使材料拉伸强度的降幅较 45°、90°低。

(3) 缝合线直径

为了考察缝合线直径对材料拉伸性能的影响,分别采用线密度 1 000 D、2 000 D 两种芳纶纤维对连续碳纤维增强 EP 和碳纤维布增强 EP 两种材料进

行缝合,结果见图 2。从图 2 可以看出,对于这两种材料而言,缝合后材料的拉伸强度均不同程度下降,其中用 2 000 D 缝合线缝合的复合材料的拉伸强度降幅较 1 000 D 缝合线低。这可能与直径越大,缝合线在材料受到纵向拉伸应力时发生变形、与基体脱粘和摩擦吸收的能量越大有关。

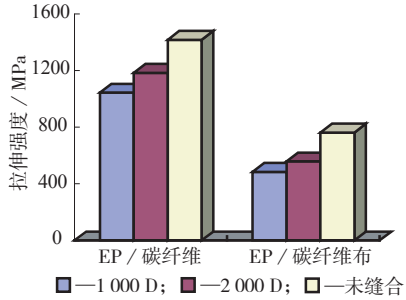


图 2 缝合线直径对复合材料拉伸强度的影响

2.2 缝合参数对材料弯曲性能的影响

(1) 缝合方向和缝合密度

图 3 示出不同缝合密度(采用 2 000 D 缝合线)、缝合方向时连续碳纤维增强 EP 复合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量。

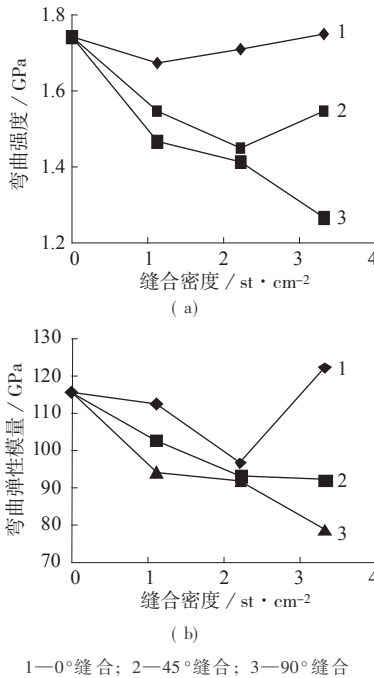


图 3 缝合方向、缝合密度对碳纤维增强 EP 复合材料弯曲性能的影响

从图 3 可以看出,在不同缝合密度下,0°缝合材料的弯曲强度和弯曲弹性模量均高于 45°、90°缝合材料的相应值,90°缝合时,材料弯曲强度和弯曲弹性模量均最低。材料在弯曲破坏过程中,一侧受拉

伸应力而另一侧受压缩应力,0°缝合材料的缝合方向恰好与拉伸应力方向重合,芳纶纤维的断裂伸长率较碳纤维大很多,受力时可以变形卸载,从而使材料抵抗弯曲破坏的能力较45°、90°缝合的材料高。

(2) 缝合线直径

表3示出缝合线直径对连续碳纤维增强EP复合材料弯曲性能的影响。从表3可以看出,材料弯曲强度随缝合线直径的增加而降低,采用0°、90°缝合、缝合密度为0.909 st/cm²时,降幅分别为5.3%和0.9%。缝合线直径对材料弯曲弹性模量无明显影响。这是因为缝合线直径越大,材料中纤维弯曲和树脂富集等现象越严重,应力集中越明显,所以缝合线直径越大,弯曲强度越低。而缝合线直径对材料弯曲弹性模量的影响应从两方面考虑:直径较大的缝合线易引发裂纹,引起弯曲弹性模量下降;另一方面,直径较大的缝合线能更有效地抑制材料分层,提高弯曲弹性模量。这两方面的作用相当且相互抵消,从而使材料的弯曲弹性模量无明显变化。

表3 缝合线直径对碳纤维增强EP复合材料弯曲性能的影响

编号	缝合密度 / st · cm ⁻²	缝合方向 / (°)	弯曲强度 / GPa	弯曲弹性模量 / GPa	备注
FB-1			1.743	115.6	未缝合
FB-2	0.909	0	1.673	112.3	2000 D 缝合线
FB-5	0.909	90	1.467	94.0	2000 D 缝合线
FB-12	0.909	0	1.767	112.0	1000 D 缝合线
FB-13	0.909	90	1.480	95.7	1000 D 缝合线

2.3 缝合参数对材料层间剪切性能的影响

(1) 缝合方向

表4示出缝合方向对连续碳纤维增强EP复合材料层间剪切强度的影响。从表4可以看出,不同缝合方向材料的层间剪切强度的差别不大。当缝合密度为2.500 st/cm²时,与未缝合材料相比,90°方向缝合材料的层间剪切强度的提高幅度最大,为7.8%。这是由于缝合线在材料厚度方向上起到增强作用,从而使材料的层间剪切性能提高。

表4 缝合方向对碳纤维增强EP复合材料层间剪切性能的影响

编号	缝合密度 / st · cm ⁻²	缝合方向 / (°)	层间剪切强度 / MPa	备注
FI-1			87.27	未缝合
FI-2	2.500	0	93.41	2000 D 缝合线
FI-3	2.500	90	94.01	2000 D 缝合线
FI-4	2.500	45	91.25	2000 D 缝合线

(2) 缝合密度

图4示出45°缝合时,缝合密度(采用2000 D缝合线)对连续碳纤维增强EP复合材料层间剪切

强度的影响。从图4可以看出,材料的层间剪切强度随缝合密度的增加呈先增加后降低趋势。当缝合密度为2.500 st/cm²时,材料的层间剪切强度最高,比未缝合材料提高4.6%。这是因为当缝合密度较低时,纤维损伤较小,缝合线可以在厚度方向上有效地起到增强作用,而当缝合密度过高时,材料反而会因为纤维损伤过多导致层间性能下降。

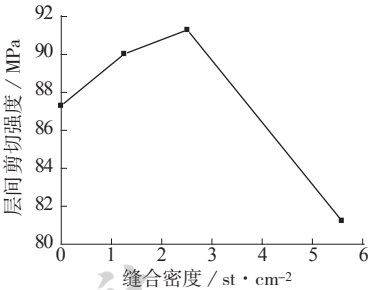


图4 缝合密度对碳纤维增强EP复合材料层间剪切强度的影响

4 结论

(1) 相比于其它缝合方向,采用0°方向缝合时,材料的拉伸性能和弯曲性能降幅较小。

(2) 材料的层间剪切强度随着缝合密度的增加呈先增加后降低趋势。当45°缝合、缝合密度为2.500 st/cm²时,材料的层间剪切强度最高,比未缝合材料提高4.6%。缝合方向对材料层间剪切性能无显著影响。

参考文献

[1] Dexter H B. Development of textile reinforced composites for aircraft structures[C] . Preocceeding of the 4th international Symposium for Textile Composites, Kyoto, 1998.

[2] Poe J C C, Dexter H B, Raju I S. A Review of the NASA textile composites research, NASA-aiaa-97-1321 [R] . NASA Langley Technical Report Server, 1997.

[3] Schwartz L H. Spinodal decomposition in a Cu9Ni6Sn alloy[J] . Acta Metal, 1974, 22: 601 - 602.

[4] Jain L K, May W. On the effect of stitching on mode I delamination toughness of laminated composites[J] . Composites Science and Technology, 1995, 51: 331 - 345.

[5] Jain L K, May W. Determinantion of mode II delamination toughness of stitched laminated composites[J] . Comp Sci and Tech, 1995, 55: 241 - 253.

[6] Mpuritz A P, Leong K H, Herszberg I. A Review of the effth of the stitching on the in-plane mechanical properties of fibre reinforced ploymer composites[J] . Composites A, 1997, 28: 979 - 991.

[7] Cox B N, Flanagan G. Handbook of analytical methods for textile composites, NASA-97-cr-4750[R] . NASA Langley Technical Report Server, 1997.

[8] Delbrey J. Database of mechanical properties of textile composites, NASA-96-cr-4747 [R] . NASA Langley Technical Report Server,

1996.

- [9] Masters J E, Portanova M A. Standard test method for textile composites, NASA-96-cr-4751 [R]. NASA Langley Technical Report

Server, 1996.

- [10] 王春敏, 懂娟, 董浮允. 缝合复合材料的力学性能[J]. 纤维复合材料, 2002, 18(1): 18-22.

EFFECTS OF STITCHING ON PROPERTIES OF CARBON FIBER COMPOSITES

Yu Qianqian, Chen Gang, Zheng Zhicai, Chong Lin, Wu Zhongquan, Wang Zhong

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT Kevlar fiber was used to stitch the carbon fiber reinforced epoxy resin. The effects of stitching parameters such as stitching density, stitching direction and stitching threads on tensile property, bending property and interlaminar shear property of composites were studied. Results indicated that stitching direction and stitching density played important roles in the affecting the properties of composites. After being stitched, tensile property and bending property of composites were weakened, however, interlaminar shear property was strengthened.

KEYWORDS stitching, composite, technical parameter

中国玻纤总裁张毓强荣居 2009

中国上市公司最佳 CEO 榜首

近日,《福布斯》中文版发布了“2009 年中国(A 股非国有)上市公司最佳、最差和最贵 CEO”榜单,其中中国玻纤(600176.SH)总裁张毓强位列最佳 CEO 榜首。

由张毓强一手创办的巨石集团是中国玻纤的核心企业。1999 年 3 月,桐乡振石股份有限公司以其全资子公司巨石集团资产参股的“中国化建”(“中国玻纤”的前身)成功上市,公司注册地在北京。目前,中国玻纤 95% 以上的收入均来自于巨石集团。凭借 90 万 t 的产能,巨石集团已经成为全球规模最大的玻纤企业,中国玻纤也因此成为全球玻纤业的领军者。去年,中国玻纤股份有限公司实现营业收入 40.1 亿元,同比增长 25.2%,3 年平均增长率为 39.89%,60% 的产品都被销往海外市场。

按照张毓强的长期规划,到 2012 年再投资 100 亿元,完成江西九江年产 30 万 t 和四川成都年产 60 万 t 玻纤生产基地的建设,以及国内外新增战略布点 10 万 t 玻纤年生产能力将超过 150 万 t,确保玻纤行业世界第一,并占世界玻纤生产总量的 25% 以上。

(中聚)

超切变塑化挤出机新技术

在 CHINAPLAS2009 国际橡塑展上,华南理工大学瞿金平教授发明的超切变塑化挤出机获得广泛的关注,有两家公司分别在不同展位展出了两台应用该机理的产品——超切变塑化挤出机。

这一基于新型原料的塑化挤出机,完全抛弃了传统螺杆挤出机基于剪切和摩擦的输送和塑化机理,而是采用基于正应力作用的输运机理。该挤出机由若乾组叶片塑化挤出单元串联而成,每一组叶片塑化挤出单元的结构都类似于液压系统中的叶片泵,由泵体、偏心转子及叶片组成。工作时物料从偏心腔体的大端进入,然后被叶片推动到腔体小端并挤出到下一单元,期间物料完全在正应力的作用下被研磨、压实、排气和塑化。这一过程中物料的输运量是由泵中腔体的容积变化量决定的,输运效率基本上不受物料流变性能的影响。

因此在挤出过程中挤出量受模头压力影响很小,而且物料在挤出机中的停留时间更均一,减小了物料的热历程差异。

(工程塑料网)

我国大飞机刹车材料应用项目通过验收鉴定

中国航天科技集团航天四院近日报道,我国在大飞机刹车材料研究与应用领域取得重大突破。据了解,由航天四院西安超码科技公司研制的飞机炭刹车盘具有完全自主知识产权,打破了国外对民用飞机主力机型此领域的垄断。该产品价格仅为国外同类产品的一半,每年将为我国民航客机节约成本上亿元。炭/炭复合材料具有高强度、高刚度及优良的抗摩擦性能,与传统金属材料相比,减重约 40%,能耐 2000℃ 以上高温,且各项物理性能不发生衰减。目前,这种产全国产的大型民用飞机刹车盘已分别取得波音 757、空客 318/319/320 等民航主力机型炭刹车盘零部件制造许可证,并已在拉萨机场等高原航线投入使用。

(慧聪)

美国推出高强度玻纤填充材料

Teknor Apex 公司旗下的 Chem Polymer 近日推出一种填充 17% 玻璃纤维的新型玻璃纤维增强聚酰胺 6 复合材料 Chemlon217G1,这种材料强度和硬度出色,可满足动态受力场合对注塑成型部件的苛刻要求,可用于办公室座椅、户外动力设备、船外发动机外罩和枪托等部件。另外该材料的流动性能出色,适合用于加工大型部件。

(工程塑料网)

瑞典海军接收两艘应用复合材料建造的护卫舰

2009 年 12 月 16 日,瑞典国防装备管理局在卡尔斯克鲁纳向瑞典皇家海军交付首批两艘“维斯比”级轻护舰:“赫尔辛堡”号和“海纳桑德”号。

“维斯比”级轻护舰共计 5 艘,应用了先进科技,具备多方面的任务能力,可进行扫雷战、反潜战、水面战,执行海上监视、海上安全以及国际性任务,也可进行海上灾难救援。“维斯比”级使用层压塑料材料,舰艇非常坚韧且富有弹性。该材料也使得舰艇具有(雷达、磁性、水声)反射信号较低的特性,从而很难被雷达和红外摄像仪探测到。同时,舰艇可很好地防止振动效应,载重量也比较大。

(中聚)