

碳纤维复合材料薄壁管的制备及其轴向压缩性能研究

郑志才 孙士祥 陈 艳 王 强 章玉斋
(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 以内径 60 mm、外径 74 mm、长度 80 mm 的碳纤维复合材料薄壁管为对象, 对不同树脂含量、不同环/纵向铺层比、不同端部结构的薄壁管分别进行静态轴向压缩试验, 并研究了不同树脂基体对薄壁管静态轴向压缩强度的影响。结果表明, 适当增加树脂含量、降低环/纵向铺层比、对管端部加强及采用增韧改性树脂基体都可以提高此种复合材料薄壁管的静态轴向压缩强度。

关键词 碳纤维 复合材料 薄壁管 轴向压缩强度

力学性能是材料最重要的性能。树脂基复合材料具有比强度高、比模量大、抗疲劳性能好等优点, 承力结构的树脂基复合材料就是利用其这种优良的力学性能^[1]。目前, 树脂基复合材料已经被广泛应用于各行各业中。随着此种复合材料的广泛应用, 对其性能要求也越来越苛刻, 不仅要求复合材料具有较高的拉伸强度、拉伸弹性模量、弯曲强度和冲击强度等, 而且在很多应用场所同样要求复合材料具有较高的压缩强度。由于单向树脂基复合材料的压缩问题较拉伸问题更为复杂, 国内外对复合材料管状结构的压缩性能和失稳破坏机理方面的研究较少。复合材料各组分性能对强度的作用机理、各种缺陷对强度的影响等, 均有待于具体深入研究^[2]。笔者以内径 60 mm、外径 74 mm、长度 80 mm 的碳纤维复合材料薄壁管为对象, 研究了不同结构形式、不同树脂基体及不同环/纵向铺层比成型对树脂基复合材料薄壁管静态轴向压缩强度的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

碳纤维(CF): T300 型, 日本东丽公司;
环氧树脂(EP): I 型和 II 型(增韧改性), 自制。

所用原材料的性能见表 1。

表 1 原材料性能 ¹⁾			
材料	拉伸强度/MPa	拉伸弹性模量/GPa	密度/g·cm ⁻³
CF	3530	230	1.76
I 型 EP	65	3.2	1.17
II 型 EP	70	3.0	1.17

注: 1) 指 CF 单丝、EP 浇注体的性能。

1.2 实验设备

缠绕机: FWA/1/5/1 型, 德国 BSD 公司;
旋转固化烘箱: JDGH6 型, 自制;
卧式车床: C620-1 型, 兰州机床厂;

压力试验机: YE-W5000J 型, 济南试金集团。

1.3 试件制备

(1) 预浸料的制备

采用滚筒法制作单向 CF 预浸料。控制预浸料中 EP 的质量分数分别为 (30 ± 3)%、(33 ± 3)%、(35 ± 3)%、(37 ± 3)%, 预浸料挥发分质量分数小于等于 2%。

(2) 圆筒试件的制备

试件采用多次成型方式。采用外径为 60 mm、长度为 100 mm 的金属模具, 将模具表面处理后卷铺预浸料, 压紧压实, 缠绕环向后称为 1 层; 重复卷铺和缠绕多层, 直至试件达到加工尺寸, 每层卷铺之前先进行必要的表面打毛处理。

固化工艺为 120℃/2 h→130℃/2 h→170℃/2 h。试件外径及长度尺寸由车加工保证。对管端加强时, 金属加强箍与复合材料的连接采用常温固化胶粘剂。所制试件见图 1。

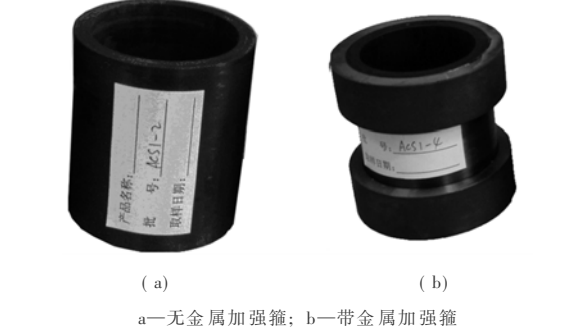


图 1 不同端部结构的试件

1.4 试验方法和性能测试

(1) 试验方法

实验过程中为消除试件的内应力, 选择预压力 500 N, 归零后以 5 ~10 kN/s 的加载速度对试件加

载直至试件被破坏,记录最大压缩载荷。试验工装及装配尺寸见图2。

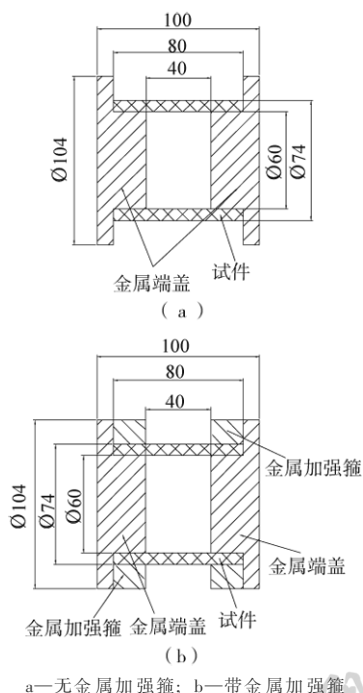


图2 试验工装及装配尺寸

(2) 性能测试

轴向压缩强度按 GB 5350-1985 测试;

预浸料挥发分含量按 GB 6056-1985 测试。

2 结果与讨论

2.1 不同树脂含量对复合材料管轴向压缩强度的影响

图3示出不同 I 型树脂含量制备的复合材料管的轴向压缩强度。

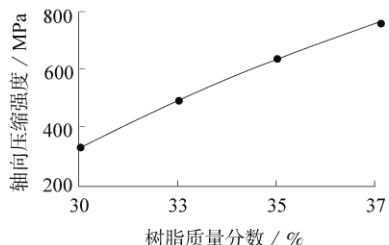


图3 不同树脂含量的复合材料管的轴向压缩强度

从图3可以看出,随着树脂含量的增加,复合材料管的轴向压缩强度提高,适当增加树脂含量有利于提高管件的轴向压缩强度。

树脂基体本身虽然不能提供多少强度,但对复合材料极限性能的影响极大。树脂基体的作用使 CF 粘结在一起并传递载荷,使 CF 在破坏之前达到最佳应力状态。树脂含量的多少应由 CF 之间的空

隙大小而定,另外相邻 CF 之间也要包裹一薄层树脂。因此树脂含量过低可能会导致 CF 之间空隙不能被填满,使得复合材料内部的空隙率增加,影响复合材料的整体性能;另外,树脂含量过低可能导致 CF 表面不能完全被树脂包裹,局部出现载荷传递不完全,降低了复合材料的层间剪切强度,使得 CF 之间不能协同作用,CF 的整体发挥率降低。因此适当增加树脂含量有利于提高复合材料管的轴向压缩强度。

2.2 不同环/纵向铺层比对复合材料管轴向压缩强度的影响

图4示出环/纵向铺层比不同的质量分数为 37% 的 I 型树脂基复合材料管的轴向压缩强度。

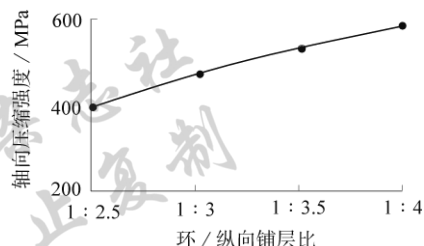


图4 不同环/纵向铺层比的复合材料管的轴向压缩强度

从图4可以看出,环/纵向铺层比越低,复合材料管的轴向压缩强度越高,降低环/纵向铺层比有利于提高复合材料管的轴向压缩强度。这是因为环向 CF 和纵向 CF 在承受压缩载荷过程中所起的作用不同,环向 CF 主要起到约束纵向 CF 径向变形的作用,而纵向 CF 在压缩过程中主要承载破坏载荷,因此应使环/纵向铺层比处在一个合适的范围内。提高环/纵向铺层比虽然提高了复合材料管的抗局部失稳能力,但复合材料管的轴向压缩强度降低,整体强度反而下降。

2.3 不同树脂基体对复合材料管轴向压缩强度的影响

图5为树脂质量分数为 37% 时不同树脂基体的复合材料管的轴向压缩强度。

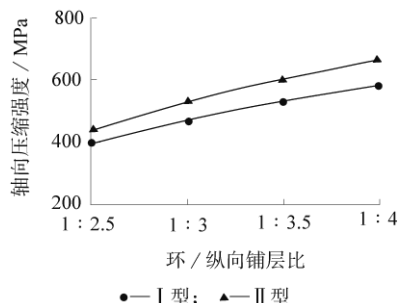


图5 不同树脂基体的复合材料管的轴向压缩强度

从图 5 可以看出, 采用经增韧改性的 II 型树脂配方成型的复合材料管, 其轴向压缩强度比不加改性增韧剂的复合材料管有所提高。

尽管在复合材料中主要由增强材料来承受载荷, 但树脂基体材料也是结构的重要组成部分。II 型树脂之所以优于 I 型树脂是因 II 型树脂中, 柔性增韧剂分子是以微相分离的结构存在于固化的 EP 体系中, 也就是柔性增韧剂分子的“悬浮”, 这种 EP 固化物呈“海-岛”结构, “海”为 EP 固化物, 而“岛”是指柔性增韧剂微粒子^[3]。正是由于柔性粒子的存在, 使得复合材料在受到外界压力作用时的应力场不再是均匀的, 柔性分子不仅起到了应力集中物的作用, 而且在压缩过程中承受了周围强大的静压作用, 当静压达到一定程度时, 柔性分子产生自身屈服变形吸收了大量能量^[4], 从而提高了复合材料的断裂伸长率和层间剪切强度, 使得 CF 之间能够协同作用, 提高 CF 的整体发挥率, 致使复合材料管的轴向压缩强度得到提高。

2.4 不同端部结构对复合材料管轴向压缩强度的影响

图 6 示出不同端部结构的复合材料管的破坏形貌。图 7 为不同端部结构的两种树脂基复合材料管的轴向压缩强度。



图 6 不同端部结构的复合材料管的破坏形貌

实验中发现端部不带金属加强箍的复合材料试件首先在端部受到破坏, 随着载荷的增加, 端部裂纹不断扩展, 产生周向分布的多条裂纹, 使复合材料管壁分裂成多瓣, 直至端部失稳破坏; 而带金属加强箍

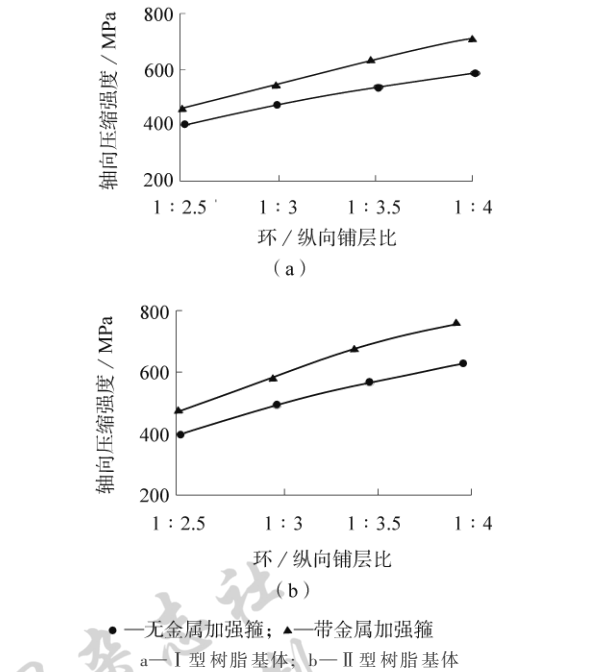


图 7 不同端部结构的两种树脂基复合材料管的轴向压缩强度

的复合材料试件, 首先在金属加强箍根部受到破坏, 随着载荷的增加, CF 承载力不断增大, 局部 CF 发生曲屈, 同时引起基体的挤压和剪切直至试件断裂破坏。

由图 7 可知, 不论树脂基体采用 I 型还是 II 型, 端部结构带金属加强箍的复合材料管的轴向压缩强度较端部不带金属加强箍的复合材料管有很大提高。这是因为在压缩过程中, 初始破坏首先出现在复合材料管的相对薄弱处, 由于试件加工的不一致性, 尤其是在加工两端时更容易产生局部缺陷, 而复合材料在达到极限应力之前, 实际上只有弹性形变而没有塑性形变。这样一来由于缺乏塑性而引起的应力集中导致了复合材料对局部破坏非常敏感。端部得到加强的复合材料管改善了加工过程中所造成的端部缺陷, 避免了端部 CF 的曲屈破坏, 从而避免了因应力集中引起的端部失稳破坏, 因此这种复合材料管的轴向压缩强度较高。

3 结论

(1) 适当增加树脂含量, 有利于提高复合材料的层间剪切强度, 使 CF 之间能够协同作用, CF 的整体发挥率增大, 提高了碳纤维复合材料薄壁管的轴向压缩强度。

(2) 由于复合材料薄壁管在压缩过程中环向 CF 约束径向变形, 纵向 CF 主要承载轴向载荷, 因此适当降低环/纵向铺层比有利于提高碳纤维复合材料薄壁管的轴向压缩强度。

(3) 在 EP 树脂基体中引入柔性增韧剂,可在 EP 固化物中形成了“海-岛”结构,在压缩过程中,柔性分子的自身屈服形变吸收了大量能量,从而提高了碳纤维复合材料薄壁管的轴向压缩强度。

(4) 对端部的加强弥补了端部缺陷,降低了端部 CF 的曲屈,避免了因应力集中引起的端部失稳破坏,提高了碳纤维复合材料薄壁管的轴向压缩强度。

PREPARATION AND AXIAL COMPRESSIVE PROPERTIES OF THIN-WALL PIPE OF CARBON FIBER COMPOSITE

Zheng Zhicai, Sun Shixiang, Chen Yan, Wang Qiang, Zhang Yuzhai

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT Carbon fiber composite thin-wall pipe of 60 mm inside, 74 mm outside and 80 mm long is regarded as the research object in the paper, with which some static axial compression experiments are done respectively for different resin content, different ratio of ring/vertical spreading and different end structure. The effect of different resin matrix on static axial compressive strength is studied. The experimental results indicate that increasing resin content, improving the ratio of ring/vertical spreading, enforcing end region and toughening resin matrixes all can improve the static axial compressive strength of composite thin-wall pipes.

KEYWORDS carbon fiber, composite, thin-wall pipe, axial compressive strength

参考文献

- [1] 温卫东,徐惠珍,顾玉明,等.纤维增强树脂基复合材料结构的优化设计[J].南京航空航天大学学报,1999,31(4):15-18.
- [2] 顾红军,赵国志,陆廷金,等.轴向冲击下薄壁圆柱壳的曲屈行为的实验研究[J].震动与冲击,2003,23(4):58-63.
- [3] 俞翔霄,俞赞琪,陆惠英.环氧树脂电绝缘材料[M].北京:化学工业出版社,2006.
- [4] 梁伟荣,郑志才,王惠民.聚醚砜增韧环氧树脂的结构与性能[J].热固性树脂,1997(4):12-14.

众所期待“2008 国际橡塑展”同期活动隆重推出

——“中美塑料行业高峰论坛”、“橡塑与体育”

第二十二届中国国际塑料橡胶工业展览会”(简称“2008 国际橡塑展”)将于 2008 年 4 月 17 日~20 日在上海新国际博览中心隆重举行。“2008 国际橡塑展”主办单位雅式展览服务有限公司除不断扩大大会的规模外,亦十分重视展会内容的素质及可观性,每年不断发掘橡塑行业中的新题材及开拓崭新的同期活动。

雅式展览服务有限公司董事长朱裕伦先生北京在举行的新闻发布会上表示,每年“国际橡塑展”的同期活动都被视为展会亮点之一,去年的“总裁论坛”及“中印塑料行业合作与发展高峰论坛”便获得观众及媒体的高度评价。今届展会为迎接八月份的北京奥运,特别添加了体育元素,于现场搭建橡塑体育馆,举行“橡塑与体育”的主题活动,并以“橡塑新科技,体育无界限”为活动的宣传口号,与业界分享更多应用于体育产业领域的最新橡塑技术和解决方案,透过运动装备展示、表演项目及互动游戏,让观众能亲身见证和体验橡塑科技对发挥运动员潜能的重要性。

此外,继去年“中印塑料行业合作与发展高峰论坛”的成功举行之后,雅式展览服务有限公司今年再接再厉,联同中国塑料加工工业协会及美国塑料工业协会(SPI)将举办“2008 中美塑料行业合作与发展高峰论坛”,希望结合中美企业面临的挑战和机遇探讨两国塑料行业共同发展的道路,借此促进两国塑料业界的商机及共谋合作机会。与会者可参加小组讨论,了解中美合作的可行方案及成功个案,相信把整个高峰论坛的气氛推至高潮。

“2008 国际橡塑展”重临上海,1 700 多家著名海内外供

应商将联同奥地利、加拿大、法国、德国、意大利、日本、中国、英国、美国及中国台湾省等国家和地区的 10 个展团携手参展,11 个展馆及新搭建的 6 000 m² 临时展馆已全被租出,使展会规模再创新高,达 132 500 m²,进一步促进上海乃至华东塑料橡胶产业的发展。

“2008 国际橡塑展”继续以“融入生活·成就商机”为主题,会上将展出应用于多个行业的化工原材料及 1 800 多台机械设备。塑料橡胶本身可塑性甚高,随着科技的进步和塑料橡胶应用面的日益广泛,已遍及汽配、建材、通讯及资讯科技、包装、电子及电气、五金工具、医疗设备等领域。

大会预计中外观众人数将逾 63 000 名,同时观众国际化程度将进一步提高。据大会数据显示,目前已有来自 100 多个国家及地区的观众进行了预先登记,其中海外观众约占五成。“国际橡塑展”能持续地迈向国际化的关键之一是杜塞尔多夫展览(中国)有限公司自 2005 年起成为“国际橡塑展”的协办单位,利用他们主办全球第一橡塑展——德国 K 展的经验、资源和关系网络,积极参与“国际橡塑展”的观众组织和推广,致力于开拓雅式、杜塞尔多夫展览和塑料橡胶行业的三赢局面。

“2008 国际橡塑展”是连续第 19 次荣获欧洲塑料和橡胶工业机械制造商协会(EUROMAP)独家赞助的中国橡塑展览会,由雅式展览服务有限公司主办,国家轻工业联合会——中国塑料加工工业协会、中国塑料机械工业协会、杜塞尔多夫展览(中国)有限公司、上海塑料行业协会等共同协办,并获得多个海内外专业协会的大力支持。