

碳纤维复合材料在中空异型弹翼上的应用

李根臣 张海燕 刘晓飞 李茂东

(中国兵器工业集团第五三研究所, 济南 250031)

摘要 对碳纤维复合材料弹翼的结构设计、制作工艺、性能检测等进行研究,采用夹芯组合模具制作中空异型复合材料弹翼样品。对样品进行测试和检测,各项性能指标均达到设计要求,与铝合金结构相比质量减少 30.7%。

关键词 碳纤维复合材料 夹芯组合模具 中空 异型 弹翼

碳纤维增强树脂基复合材料以其高比强度、高比模量、耐高温、耐腐蚀、耐疲劳、阻尼减震性好、破损安全性好、性能可设计性强等优势已被世人所共识,广泛应用于各种工业领域(如汽车工业、化学工业、电气工业、机械工程、船舶工程、医疗器械及运动设备)。由于其密度小、线胀系数低,碳纤维复合材料已逐步成为航空、航天和先进国防装备的首选材料^[1]。据报道^[2-3],美国三叉戟-2 导弹、战斧式巡航导弹、大力神-4 火箭、法国的阿里安-2 火箭改型、日本的 M-5 火箭等发动机壳体主要采用碳纤维复合材料,其中使用量最大的是美国赫克里斯公司生产的拉伸强度为 5.3 GPa 的 IM-7 碳纤维,性能最好的是东丽 T-800 纤维,其拉伸强度 5.65 GPa,拉伸弹性模量为 300 GPa;国外将环氧树脂 (EP)/碳纤维复合材料和双马来酸亚胺/碳纤维复合材料应用在战飞机身、主翼、垂尾翼、平尾翼及蒙皮等部位,起到明显的减重作用,大大提高了抗疲劳、耐腐蚀等性能。采用复合材料结构的前机身段,可比金属结构减轻质量 31.5%,减少零件 61.5%,减少紧固件 61.3%。我国“神七”飞船所用的材料中,复合材料的比例达到 65% 左右。

碳纤维复合材料是作为导弹结构件较为理想的材料。使用 EP/碳纤维复合材料制造的导弹不仅可减轻弹体质量,提高导弹机动性能、射程和速度;在简化生产工艺和步骤、提高自动化水平、降低成本和提高可靠性方面也有着显著的优势。更重要的是,先进复合材料技术有利于成型结构复杂、表面光滑,兼有耐热和对内部良好热防护的气动外形的连续体,且更容易获得现有金属材料壳体难以达到的隐身性能,使中、远程导弹的性能进一步提高。

笔者利用碳纤维复合材料的可设计性研制出适于导弹等飞行器用弹翼,该种弹翼具有中空异型、厚度差别大、尺寸精度要求高等特点,通过对其进行结构设计、铺层设计、预成型设计和模压工艺设计等,

很好地满足了弹翼的各项技术指标要求。

1 碳纤维复合材料的特点

碳纤维复合材料属于各向异性材料。与金属材料相比,材料本身及其结构都有其独特的特点。表 1 列出几种材料的性能参数^[4]。

表 1 几种材料的性能参数

材料	密度 / g · cm ⁻³	拉伸强度 / MPa	比强度 / GPa	拉伸弹性 模量 /GPa	比模量 / GPa
钢	7.6	1030	0.132	210	27
钛合金	4.5	960	0.213	114	25
铝合金	2.8	470	0.168	75	26
EP/碳纤维	1.55	1700	1.27	140	100

EP/碳纤维复合材料具有如下优点:①密度小、比强度、比模量高。由表 1 可知,其密度是其它三种金属材料密度的 0.20~0.55 倍,因而采用碳纤维复合材料替代金属材料可以增加卫星、火箭、导弹等的有效载荷。②成型工艺好。结构整体成型可减少零件和接头数目,从而减少加工程序并节省原材料,这对于笔者所研制的异型结构的弹翼非常适用。③材料性能可以设计。主要表现在可根据载荷的种类、大小、使用要求和工艺条件来对结构的形式、尺寸和厚度进行设计,选择纤维的种类、性能和百分比,确定纤维铺层方向、层数、层次和成型工艺,使结构件的性能、质量和经济指标等都能合理的优化^[5]。

2 碳纤维复合材料弹翼的研制

2.1 技术性能指标

碳纤维复合材料弹翼所需要的技术性能指标为:①弹翼质量小于 630 g;②翼尖挠度小于 30 mm;③表面光滑,无缺陷,并且能够通过无损检测其内部结构的均匀性。

2.2 原材料

笔者选用了占有国际高性能碳纤维市场 35% 的日本东丽公司生产的 T300 碳纤维和 M605 高模

量碳纤维,其性能见表 2。

表 2 碳纤维性能数据					
碳纤维牌号	拉伸强度 / MPa	拉伸弹性模量 / GPa	纤维密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	断裂伸长率 / %	线膨胀系数 / $10^{-6} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$
T300	3530	230	1.76	1.5	0.3
M60J	3920	588	1.93	0.7	-0.9

基体材料选用 EP 体系,该树脂体系具有固化方便、粘附力强、收缩性小、力学性能优良、尺寸稳定、耐高低温以及耐霉菌等特性。表 3 列出了由 T300、EP 压制的复合材料的单向性能。

表 3 T300/EP 复合材料的单向性能			
项目	数据	项目	数据
拉伸强度 / MPa	1700	层间剪切强度 / MPa	117
拉伸弹性模量 / GPa	140	密度 / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	1.55
弯曲强度 / MPa	1920	纤维体积分 / %	60
弯曲弹性模量 / GPa	130		

2.3 成型

碳纤维复合材料的成型工艺有多种,如挤拉成型、纤维缠绕成型、真空袋热压法、手糊层压法、模压法等。笔者采用铺放加模压工艺成型技术制作碳纤维复合材料弹翼,该工艺简单,对设备要求不高。其工艺流程见图 1。

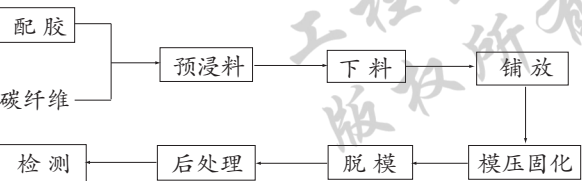


图 1 碳纤维复合材料弹翼的成型流程

弹翼的性能很大程度上取决于预浸料的性能,为了提高预浸料的质量稳定性,笔者选取刮胶导向辊状态、胶液浓度、胶液温度、滚筒圆周线速度 4 个因素,对其进行了正交设计分析,并得出制作预浸料的最佳工艺方案:加载挤胶辊,两端用橡皮松紧带来固定,胶液质量分数为 40%,胶液温度 25℃,滚筒圆周线速度 16 r/min。

根据制作的预浸料状态及弹翼的结构特点,笔者分别进行了弹翼成型结构设计、铺层设计、成型模具设计、模压成型设计和机械加工设计等。通过有限元设计分析软件对碳纤维复合材料弹翼的结构及受力情况进行分析、计算,优化设计出适合于碳纤维复合材料的部件结构;通过对工艺过程的各个工艺参数,如含胶量、压力及固化工艺等对制品性能的影响研究,找出最佳的成型工艺参数,提高了样品质量,成型出的复合材料弹翼能够满足其强度和外形尺寸要求。

3 性能检测及数据分析

随机选出碳纤维复合材料弹翼 1[#]、2[#]、3[#] 试样进行测试。根据弹翼技术要求对其进行了尺寸检测、称重、无损探伤以及挠度检测,得出弹翼质量为 610 g。对其进行模拟试验,结果如表 4 和图 2 所示。由表 4 可知,弹翼在受力状态下,其变形与荷载成正比,且破坏载荷比较接近(3 400~4 100 N),说明弹翼内在质量比较稳定,且均能满足弹翼技术要求。

表 4 弹翼模拟试验性能表		
试样	项目	数据
1 [#]	1500N 翼尖挠度 / mm	24.1
	1700N 翼尖挠度 / mm	26.8
	破坏载荷 / N	4 037
2 [#]	1500N 翼尖挠度 / mm	21.6
	1700N 翼尖挠度 / mm	23.4
	破坏载荷 / N	4 128
3 [#]	1500N 翼尖挠度 / mm	20.4
	1700N 翼尖挠度 / mm	22.3
	破坏载荷 / N	3 534

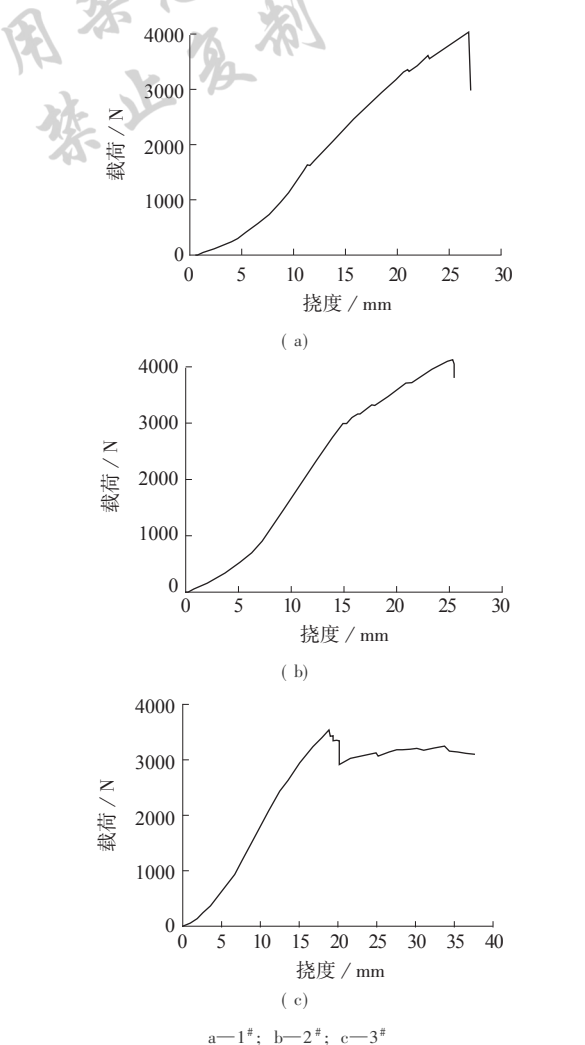


图 2 载荷-挠度曲线

为观测其内部结构的均匀性,对复合材料弹翼进行无损检测试验(CT透视试验),结果如图3所示。由图3可知,弹翼内部结构良好,没有明显的内部缺陷。

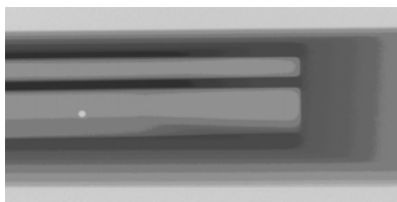


图3 复合材料弹翼CT透视试验图

在研制过程中应该注意以下细节:①该弹翼制品翼根处是中空的,笔者所研制的合理的芯模脱模工艺对样品的完整性起了非常关键的作用。试验初期,由于芯模尺寸不合理,脱模剂使用不当,经常会出现粘模以及制品分层劈裂现象。虽然该弹翼异型中空,但达到了总体装配的强度和刚度要求,相对于铝合金结构质量减少30.7%,增加了导弹的有效载荷。因而,合理的模具设计也是研制弹翼的重要步骤。②要达到所要求的弹翼强度,需要根据力学原理来设计预浸料的铺放尺寸和铺放角度,同时还要

兼顾工艺实现的可行性。

4 结语

笔者所采用的铺放加模压的组合工艺成型的碳纤维复合材料弹翼性能指标达到了设计技术要求;碳纤维复合材料的性能与结构相辅相成,在产品设计的同时进行材料结构设计、工艺优选等,同时考虑材料、设计、工艺才可实现碳纤维复合材料结构件的实用化。该材料、技术方案可以推广到航空、航天及国防装备等领域。其不仅是现有金属材料壳体技术的一种补充,也是一种有发展前途的材料工艺技术。

参考文献

- [1] 张兴益,杨鸿昌.碳/环氧复合材料弹翼的质量控制[J].宇航材料工艺,1998(4):36-38.
- [2] 张玉龙.高技术复合材料制备手册[M].北京:国防工业出版社,2003.
- [3] 沃丁柱.复合材料大全[M].北京:化学工业出版社,2000.
- [4] 田海英,关志军,丁亚林,等.碳纤维复合材料应用于航天光学遥感器遮光镜筒[J].光学技术,2003,29(6):704-706.
- [5] Andrew F. High temperature organic composite applications for supersonic missile airframes[J]. SAMPE Journal, 2000, 36(1):9-23.

APPLICATION OF CARBON FIBER COMPOSITES IN HOLLOW AND PROFILED WING

Li Genchen, Zhang Haiyan, Liu Xiaofei, Li Maodong

(CNGC Institute 53, Jinan 250031, China)

ABSTRACT The structural design, manufacture and testing of carbon fiber composite wing were studied. Hollow and profiled wing sample was manufactured by sandwich mold. By test and inspection, the performance index of the sample could meet the design requirements. Compared with the aluminum alloy wing, the weight was reduced by 30%.

KEYWORDS carbon fiber composites, sandwich mold, hollow, profile, wing

木塑材料蕴含巨大的经济与环保效益

热塑性木塑复合材料(WPC)是采用木纤维或植物纤维填充、增强,经热压复合、熔融挤出等不同加工方式制成的改性热塑性材料。其既能发挥材料中各组分的优点,克服因木材强度低、变异性大及有机材料弹性模量低等造成的使用局限性,又能充分利用废弃的木材和塑料,减少环境污染。

目前,提高材料附加值的产品愈来愈受到人们广泛关注。现在研究热点主要集中在以聚乙烯(PE)、聚丙烯(PP)、聚氯乙烯(PVC)、聚苯乙烯(PS)等热塑性塑料和木粉、植物秸秆粉、植物种壳等木质粉料为原料,经挤压、注塑、压制成型所制成的复合材料方面。

生产原料方面,可采用各种废旧塑料、废木料及农作物的剩余物。因此木塑复合材料的研制和广泛应用,有助于减缓塑料废弃物的污染,也有助于减少农业废弃物焚烧带来的环境污染。

木塑复合材料的生产和使用,不会向周围环境散发危害

人类健康的挥发物,材料本身还可回收利用,是一种全新的绿色环保产品,也是一种生态洁净的复合材料。因此,对木塑复合材料的制备和加工进行研究,蕴含着巨大的经济效益和环保效益。

(中建网)

山东积极发展特种纤维等新材料产业

为加快推进新材料产业发展,山东省制定了《关于促进新材料产业加快发展的若干政策》。在高技术陶瓷、特种纤维、高分子材料等领域,山东省重点培育出了烟台万华、烟台氨纶、同大海岛新材料、山东东岳、山东东陶、威海光威、泰山玻纤等一批龙头企业和中材高新、莱芜爱地、威海拓展纤维等一批新兴新材料企业。

新材料产业是山东省积极培育的一个新的经济增长点,为此,必须鼓励、支持和引导优势资源向新材料产业集聚,突出新材料的应用,重点围绕先进制造、电子信息、新能源设备、医疗等领域,加快具有良好发展基础和比较优越的新材料研发和应用。

(中聚网)