

碳纤维复合材料锥形壳体成型技术初探

刘炳禹 王晓洁 韩建平 尤丽虹

(陕西非金属材料工艺研究所 西安 710025)

文 摘 通过浇注体、复丝和容器性能测试,较系统地研究了高性能低粘度的树脂基体配方,探讨了锥形壳体的成型工艺条件,初步研究了容器纤维含量的精确控制方法,摸索了湿法成型壳体表面的处理技术。用国产碳纤维缠绕的锥形容器的 PV/W 值达 30.6 km,环向纤维强度转化率达 78.2%,实验结果表明,该工艺路线是可行的。

关键词 碳纤维,锥形壳体,成型技术

Preliminary Study on Technology of Conical Vessels for Carbon Fiber Composites

Liu Bingyu Wang Xiaojie Han Jianping You Lihong

(Shaanxi Non-metal Material & Technology Institute Xi'an 710025)

Abstract In order to explore the processing technology of conical case of carbon fiber composites, its matrix formulations with high properties and low viscosity are systematically studied by testing the properties of cast matrices, relevant composite tapes and vessels. The methods of accuracy-control of fiber content and surface-control technology of wet-winded case are explored. As high as 30.6 km of PV/W and 78.2% of strength transformation ratio of circular fibers can be obtained for a conical vessels winded with domestic carbon fibers. The experimental results show that the processing technology is feasible.

Key words Carbon fiber composite, Conical vessel, Processing technology

1 前言

80年代以来,碳纤维在力学性能方面取得重大突破,其强度和模量比70年代的T-300提高一倍左右,比强度、比模量跃居各先进纤维之首^[1]。除此之外,它还有许多优良性能:热胀系数小,尺寸稳定性好;抗压、层间剪切强度及纤维强度转化率较高;不易产生静电聚集;使用温度高,不会产生热失强;有吸收雷达波的隐身功能等^[2]。同时,碳纤维的价格也在逐渐降低。因此,碳纤维复合材料在国民经济各领域得到广泛的应用,特别在宇航领域,使用量逐年增加,以提高飞行器性能,减轻飞行器质量。

根据实际需要,该壳体设计成锥形,并用碳纤维复合材料成型。在研究过程中,选用国产吉碳高强度碳纤维、进口HTA-P30CF与环氧树脂体系进行成型工艺探索,优选最佳工艺参数。几年来,在锥形壳体铺层设计、缠绕张力选择、含胶量控制、壳体表现质量、基体配方方面做了一些探索性的研究,取得一定的进展。

2 试验部分

2.1 原材料

2.1.1 碳纤维物理及力学性能

碳纤维物理及力学性能见表1。

收稿日期:1999-12-10;修回日期:2000-03-13

刘炳禹,1941年出生,研究员,主要从事纤维增强聚合物基复合材料的研究工作

表1 碳纤维的物理及力学性能*

碳纤维	密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$	线密度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-1}$	束丝根数	单丝直径/ μm	单丝横截面形状	拉/MPa	$E_{\text{拉}}/\text{GPa}$	断裂伸长率 / %
吉碳	1.764(1.76)	0.1416~0.1587	2926(3000)	2.5~5.22	圆、椭圆	3446(3326)	212(230)	1.78
HTA—P30	1.766(1.76)	0.2006(0.2000)	2939(3000)	4.44~5.33	圆	3830(3800)	214(230)	1.77(1.76)

*括号内数值为厂家提供。

2.1.2 环氧树脂体系

环氧树脂体系为 E—51 + TDE—85 + 芳香胺固化剂,其浇注体性能见表2。

表2 浇注体性能

拉伸强度 / MPa	拉伸模量 / GPa	弯曲强度 / MPa	弯曲模量 / GPa	延伸率 / %	马丁耐热 / 温度/
105	3.77	162	3.76	4.5	132

2.2 试验设备

微机控制缠绕机、配胶设备、水压试验机。

2.3 试验方法

(1)树脂基体系统按配比及配胶工艺配制,待用;

(2)采用湿法成型技术,即将纤维给一定张力后浸渍树脂直接缠绕到锥形芯模上,缠绕后固化成型;

(3)采用水压爆破试验,根据爆破压强计算容器 PV/W 值(容器特性系数)等数据。

3 结果与讨论

3.1 锥形壳体铺层设计初探

3.1.1 锥形壳体铺层设计

锥形壳体由于圆筒段二端直径不等,在铺层设计时一般有两种方法。一是按网格理论,以大端直径为容器筒段直径,合理排布纵、环向纤维以达到一个平衡结构。这样设计的缺点是直径小的筒体部分纤维有富余,没有充分发挥作用。二是以小端直径为容器筒段直径,合理排布纵、环向纤维,在大直径部分的不同位置铺放不同数量的0°无纬带以达到一个平衡结构。这样设计的优点是筒体各处纤维都能得到充分地发挥,从而达到在设计压强相同的情况下,材料用量较少的目的,但工艺较麻烦。目前,我们只对第一种铺层设计方法进行了实验,在锥形

宇航材料工艺 2000年 第4期

容器试验前,先在 150 mm 容器上进行了国产碳纤维湿法成型工艺探索,试验结果见表3。其后又设计加工锥形试验壳体芯模,缠绕国产碳纤维锥形壳体。水压爆破试验结果见表4。

表3 国产碳纤维缠绕 150 mm 容器试验结果

试样	$P_{\text{爆}}/\text{MPa}$	$\frac{PV}{W}/\text{km}$	$K^*/\%$	破坏位置
H—01	17.0	26.8	70.0	筒身
H—02	18.5	27.6	78.0	筒身
H—03	18.5	28.2	78.0	筒身
x	18.0	27.5	75.3	
Cv/ %	4.81	2.55	6.13	

* K 为环向纤维强度转化率。

表4 锥形容器水压试验结果

$P_{\text{爆}}/\text{MPa}$	$\frac{PV}{W}/\text{km}$	$K/\%$	破坏位置
19.0	30.6	78.2	筒身纵环

由表3和表4比较可以看出,锥形容器和 150 mm 柱形容器性能相近,而且锥形容器表观质量较好。容器爆破后,破坏缺口成一直线,层间纤维/树脂间粘结较牢。结果说明铺层设计基本合理,树脂基体和纤维相容性较好。

3.1.2 锥形壳体缠绕成型工艺参数的初步确定

根据上述分析和实践,初步确定锥形壳体缠绕成型工艺参数如下。锥度:1.8°;设计压强:19.4 MPa;缠绕张力:40 N~35 N;纵向缠绕角:28°;纵向循环数:2;环向层数:4;环向带宽:2.0 mm;纱带股数:3(股/带);复合材料质量:0.400 kg。

3.2 纤维体积分数控制性研究

湿法成型与干法成型相比,其最大的难题之一是纤维体积分数很难控制,纤维体积分数的多少影响缠绕制品的性能。从强度上来说,纤维体积分数太高会使纤维架空,缺陷得不到填充,影响应力的传递;而含胶量太高会相对降低制品强度,会使缠绕制品增加无效质量,且难于控制制品厚度。纱带含胶量的均匀可调,纤维完全浸透,制品内外含胶量一致,可以使制品纤维体积分数均匀,提高产品的密实

程度,力学性能也会提高。在湿法缠绕中影响制品纤维体积分数的因素很多,实现对纱带含胶量工艺参数的实时测试,进而实现含胶量可调,控制制品纤维体积分数是该项研究的最终目标。

湿法缠绕影响纱带含胶量,影响制品含胶量或制品纤维体积分数的主要因素有:树脂的粘度、缠绕张力和刮胶系统的效果。为此,我们探索了这些主要因素与含胶量的关系(见表5)。

表5 胶液粘度、挤胶辊间隙与含胶量之间的关系
Tab.5 Resin viscosity, squeezer rolls gap and resin content

缠绕时环境温度/	胶液粘度/ Pa·s	缠绕张力/N	挤胶辊间隙/mm	纱带含胶量 [*] / %	容器计算含胶量 [*] / %	实测含胶量 [*] / %
20	1.2	40~35	0.25	56.6	42.0	36.46

*含胶量为质量分数。

由表5可以看出,纱带含胶量,容器计算含胶量及实测含胶量呈逐渐减少的趋势是正确的,因为纱带缠到容器上后,在张力的作用下纱带上的胶液要向外迁移。缠完后容器表面的浮胶较多,要用吸胶布吸去。容器计算的含胶量是由容器的质量(固化后)和缠绕用纤维质量(计算)间关系算得,容器表面虽经吸胶布处理但表面还是稍有浮胶,所以计算含胶量比实测含胶量还是偏高,因而容器纤维体积分数偏低。容器实测含胶量与设计含胶量(35%)相近。胶液粘度、缠绕张力、挤胶效果对容器含胶量或容器纤维体积分数影响,是今后的重点研究内容。下面介绍影响壳体含胶量的主要因素和措施。

(1) 树脂体系粘度

这是影响缠绕制品含胶量或纤维体积分数的的重要因素。首先要选择树脂体系最佳的粘度值,其次是在缠绕过程中要使粘度可调。一般的做法是选择低粘度的树脂基体,并用稀释剂降低粘度,必要时可采取加热的办法,使体系粘度可调,这样粘度在浸渍工艺过程中就比较稳定。

(2) 缠绕张力的影响

张力的变化对缠绕制品含胶量或纤维体积分数影响很大。张力过大时纱带在制品上过度挤胶,造成含胶量过低。由于此项研究工作开展时间短,现已建立的张力实时控制系统主要依靠缠绕设备配备的硬件构成,还需在缠绕实践中做进一步的改进,以期对张力与含胶量和缠绕制品力学性能的关系有更

为精确的量化认识。

(3) 刮胶系统

这是为缠绕成型工序提供高质量胶带的保证。刮胶系统的挤胶程度直接影响树脂的浸透性和胶带的含胶量,而胶带的质量优劣影响压力容器的含胶量和性能。优质胶带必须使纤维束完全浸透,含胶量均匀。目前在碳纤维湿法缠绕中,不能过度挤胶,以防出现干纱、断纱。对制品的多余浮胶仍采用手工操作,这就不可避免在缠绕中给含胶量带来较高误差。要实现制品纤维体积分数有精确控制,在缠绕全过程中能够定量挤胶是关键环节,为此已对刮胶系统做了改进。为湿法配方研制的胶槽可以比较精确直观地调节挤胶辊间隙,这样在压展后可以得到含胶量适当、厚度均匀的纱带。改进后的刮胶系统是进一步研究胶液粘度、缠绕张力、挤胶效果对制品纤维体积分数影响的有力工具。

3.3 容器外观质量的控制性研究

在湿法缠绕成型中,树脂系统未经过预反应就浸渍纤维,直接缠绕到芯模上。这时树脂体系粘度低,在缠绕张力的作用下,树脂系统向外迁移比较厉害,整个缠绕层次完成后,壳体表面浮胶严重,所以对湿法缠绕容器的外表面处理是非常必要的。根据俄罗斯专家介绍,他们将壳体表面处理放在十分重要的地位上,如壳体缠绕完后缠一层尼龙布再缠玻纤布并在机器上转动1h~2h,对封头处理就更加麻烦了。针对我们的具体情况,采取了几种措施,现

宇航材料工艺 2000年 第4期

将效果和优缺点列于表 6。

表 6 容器外表面处理情况一览表

Tab.6 Contrast of different surface - control methods

吸胶布种类	效果	优缺点	备注
尼龙布	表面光洁	表面树脂层较厚,不适于缠绕壳体	手工适当转动芯模
玻纤布	与容器外表面贴合不好,效果不佳	使用方便,但吸胶效果不佳	手工适当转动芯模
无纺布	吸胶效果好	吸胶能力强,容易操作, 但树脂胶凝前需揭掉,表面不很光洁	手工适当转动芯模

由表 6 可以看出,用无纺布来吸收容器表面浮胶是一种较好的方法,但处理后外表面不十分光洁,树脂胶凝前需拆除都是工艺上不方便之处,今后仍要选择更好的材料,探索简单的工艺,争取最好的效果。

4 结论

研究结果表明,锥形壳体的铺层设计合理,工艺参数选择基本合适,工艺路线可行,用无纺布进行容

器表面处理效果较好。因此,压力容器的表观质量和力学性能较高,达到预定指标。

参考文献

- 1 邱惠中. 先进战略导弹用材料的现状和发展前景. 宇航材料工艺,1992;(4):10
- 2 陈明义. 先进复合材料在战略导弹固体发动机上的应用现状与展望. 宇航材料工艺,1990;(4):1~7

自动蒸气熨烫吸湿定型新工艺

本成果发挥军工技术优势,采用蒸气喷雾熨烫吸湿定型新工艺新技术,为羊毛衫行业研制出自动蒸气熨烫设备。该设备包括电热蒸气锅炉、全蒸气熨斗、真空熨烫工作台、喷气抽风整烫台、喷气电熨斗、温度控制器。本工艺从根本上解决了普通电熨斗熨烫容易产生的烫黄、烫焦和极光等质量问题。

蒸气锅炉是气包式的压力容器,内盛五分之四的水。由电阻式电热器给水加热。产生高温蒸气输送给熨斗。容器内的压力自动控制,并装有安全阀、水位探针和自动报警断电装置。熨烫工作台内装有离心抽风机,把台面空腔内空气排出,使腔内达到负压。在熨烫时把织物吸住,并把烫斗内喷出的蒸气抽除,使织物快速冷却,达到热定型的目的。烫斗使用锅炉内输出的 0.15 MPa ~ 0.3 MPa 的蒸气,一部分蒸气在加热腔使烫斗加热,温度恒定。另一部分蒸气通过蒸气阀喷出,湿润被烫织物。

该设备适应范围广。除特殊动物纤维的单根单面织物外,对羊毛、腈纶以及各种羊毛与合成纤维混纺织物都有良好的热定型效果。经众多羊毛衫厂、服装厂、洗染店使用,大大减轻了熨烫行业劳动强度,可提高工效 1~4 倍。整烫后的服装挺括、无极光。该设备噪音小,温控装置稳定、体积小,操作使用方便。加工产品质量完全符合外销标准。

· 李连清 ·