

大尺寸 C/E 面板铝蜂窝夹层结构筒形件成型工艺

黄智彬 蒋文革 李健芳 张娅婷 付平俊

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 对某大尺寸 MT300 碳纤维/648 环氧树脂面板蜂窝夹层结构筒形件成型工艺进行研究,介绍了内外面板成型工艺、“F”形前后金属端框与铝蜂窝夹芯插接工艺以及“F”形前后金属端框、内外面板与蜂窝夹芯的组装整体固化技术。通过模具设计优化大尺寸夹层结构筒形件尺寸满足设计要求,并解决了内外面板-蜂窝夹芯-前后金属框组装整体固化技术成型难点。

关键词 碳环氧面板,蜂窝夹层结构,成型工艺,

Forming Process of Cylinder With A Large Size of C/E Panel Aluminum Honeycomb Sandwich Structure Cylindrical

Huang Zhibin Jiang Wenge Li Jianfang Zhang Yating Fu Pingjun

(Aerospace Research Institute of Materials & Processing Technology, Beijing 100076)

Abstract The forming process of carbon fiber MT300/648 epoxy panel honeycomb sandwich structure cylindrical with a large size is investigated in the paper. The forming process of internal and external panel, the plug-in process of aluminum honeycomb with “F” shape metal frames and the assembly co-curing technology of panels-aluminum honeycomb-metal frames are introduced. The size of honeycomb sandwich structure cylindrical achieve the requirements by the mold design optimization, and the difficulty of panel-honeycomb-frames assembly technology is resolved.

Key words C/E panel, Honeycomb sandwich structure, Forming process

0 引言

C/E 面板/蜂窝夹层结构具有可设计性强、结构效率高、制造工艺成熟等特点^[1-2]。在现代航空航天等高科技领域得到了广泛应用。但随着运载火箭运载能力的提升,火箭各部段尺寸逐渐增大,结构逐渐复杂,提高了产品成型难度。本文对大尺寸 C/E 面板铝蜂窝夹层结构筒形件成型工艺进行介绍。

1 实验

1.1 材料

MT300 碳纤维,中科院山西煤化所提供,其复丝主要性能与东丽公司 T300 碳纤维相当(表 1);环氧树脂 648,上海市合成树脂研究所提供,具有耐热性能高、弹性模量较高、粘结性好、尺寸稳定性好等优异性能,并且满足空间环境条件要求,已在航空航天领域得到广泛应用;耐久无孔蜂铝窝芯自制,规格为 0.05 mm×4 mm;J-47 系列中温固化胶黏剂、J-164

室温固化胶黏剂,黑龙江省石油化工研究院。

表 1 MT300 纤维性能

Tab.1 Performance of MT300 carbon fiber

| 牌号 | 密度/ g·cm ⁻³ | 拉伸强度 /MPa | 拉伸模量 /GPa | 断裂伸长率 /% |
|-------|---------------------------|--------------|--------------|-------------|
| MT300 | 1.77 | 3504 | 242 | 1.44 |
| T300 | 1.76 | 3480 | 229 | 1.52 |

1.2 模具

蜂窝夹层结构的直径在 3 m 左右、高 1 m,并且对制品的表面质量及尺寸精度有一定要求。产品模具尺寸较大,考虑到模具加工周期、成本以及使用过程中的吊装、搬运的便捷和安全性,模具材质将选用容易加工和质轻的铝材。铝质模具不利之处在于热胀冷缩对制品的尺寸有一定的影响,在模具设计之时充分地考虑了碳纤维复合材料和铝质模具的热胀系数的差异对产品尺寸的影响。

收稿日期:2013-06-06

作者简介:黄智彬,1985 年出生,硕士,工程师,主要从事复合材料成型工艺研究。E-mail:huangzb0910@163.com

模具膨胀量计算公式如下:

$$\Delta l = a \times \Delta T \times (\alpha_{\text{aluminum}} - \alpha_{\text{composite}}) \times l$$

式中, ΔT 为固化过程中的温差; α_{aluminum} 、 $\alpha_{\text{composite}}$ 分别为铝质模具和复合材料的线膨胀系数; a 为经验参数; l 为模具的理论尺寸。

对模具的高度和直径尺寸均进行了修正, 模具尺寸满足制品一次成型即可满足尺寸要求。

1.3 预浸料制备

用排纱机制备 MT300/648 溶液阀预浸料, 其主要指标如下: 纤维面密度为 $(160 \pm 10) \text{ g/m}^2$, 树脂含量为 $(44 \pm 4) \%$, 厚度为 0.15 mm。

2 成型工艺

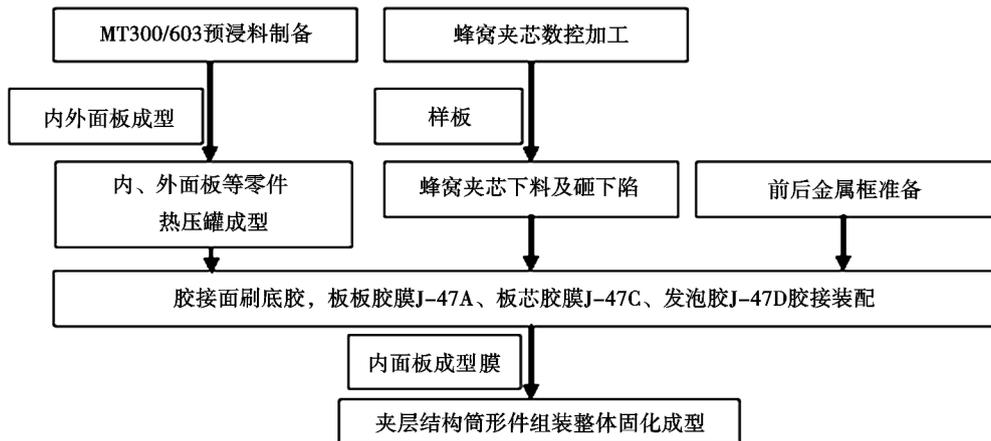


图1 成型工艺流程

Fig. 1 Forming process flow

2.2 碳环氧内、外面板成型工艺

将制备好的 MT300/648 预浸料按照面板设计要求, 裁剪成合适的尺寸和正确的角度。按照设计要求进行产品铺层后, 对产品包覆隔离、吸胶。按工艺要求, 经真空袋热压罐进行固化成型。

某大尺寸蜂窝夹层筒形件尺寸较大, 内、外面板采取分瓣的形式, 将有利于后续的组装共固化, 同时也能保证板芯贴实程度, 避免加压时压力传递不均的风险。为了保证内、外面板的厚度, 根据预浸料的实际胶含量以及面板的铺层层数进行计算, 确定放置吸胶材料的层数, 控制面板的胶含量从而达到控制面板厚度的目的, 吸胶材料层数计算公式如下:

$$m = [W - n \times A \times A_w / (1 - 40\%)] / 200A$$

式中: m 为吸胶材料层数; W 为铺层料总质量; A 为单层铺层面积; A_w 为单位面积纤维质量; n 为铺层总层数。

经工艺控制后的内、外面板厚度满足产品的要求, 本产品设计要求面板厚度为 0.8 mm, 经工艺控制后的面板厚度实际测量值为: 0.80 ~ 0.87 mm。同时为了避免固化成型后由于纤维角度偏差引起的翘曲、变形, 在下料和铺层过程中严格控制纤维角度的准确

2.1 碳环氧面板铝蜂窝夹层筒形件成型工艺

复合材料面板蜂窝夹层结构件, 常用工艺方案为面板固化与胶接共固化的成型工艺, 由于受蜂窝芯材限制, 面板成型压力不能太高并且分布不均, 容易造成面板存在较多的缺陷, 树脂的流动性不易控制, 流胶过多将造成面板贫胶, 流胶过少将导致面板与芯材的弱连接, 并且对产品尺寸的控制也较差。大尺寸蜂窝夹层筒形件将采用先制备碳环氧内外面板, 再与蜂窝夹芯、上下金属框进行胶接组装整体固化的工艺方法, 此工艺方法能有效地对各工序进行控制, 最终保证产品质量。蜂窝夹层结构筒形件成型工艺流程如图 1 所示。

性。

对同工艺状态下的随炉试样板进行性能测试, 其结果如表 2 所示, 满足要求。

表 2 随炉试样性能

Tab. 2 Performance of sample

| 纤维体积分 数/% | 孔隙率/ % | 压缩强度/ MPa | 压缩模量/ GPa | 层剪强度/ MPa |
|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
| 57.3 | 未检出 | 656 | 96.9 | 93.3 |

3 铝蜂窝夹芯制备

蜂窝夹芯为耐久无孔铝蜂窝芯, 规格为 0.05 mm \times 4 mm。蜂窝高度尺寸由数控加工成型保证。蜂窝夹芯采用拉伸机拉开, 确保芯格规整。采用蜂窝芯下料样板将蜂窝夹芯裁剪成合适的尺寸规格, 用砸下料机在铝蜂窝夹芯对应的位置砸出蜂窝下陷, 下陷的深度由定位块的高度保证。

4 上、下金属框, 碳环氧内外面板与铝蜂窝夹芯组装共固化成型工艺

由于复合材料与金属热胀系数的不匹配, 固化过程中热应力的释放不均, 容易造成连接位置的偏离, 引起组件连接部位的脱粘以及局部变形, 因此内外面板采取分瓣的方式, 在组装过程中对各分瓣间的间隙

进行控制,保证间隙均匀且间隙大小适当,以防止相邻面板相互干扰,避免加压过程中的压力传递受阻。

本产品所用上、下金属框结构断面为“F”形,质软易变形的铝蜂窝夹芯需要直接插接到“F”形金属框的深窄槽处。铝质金属框直径尺寸较大,极易变形,直接影响制品最终的外形尺寸,在组装过程中首先采用定位装置对上、下端框进行定位。按内面板-铝蜂窝夹芯-外面板的工序进行组装,组装过程中对内、外面板间的间隙进行调整。并且解决了竖直状态蜂窝夹芯发泡胶的填充以及蜂窝夹芯与“F”形上、下金属端框的插接的工艺难点。针对结构胶的特性确定胶接工艺,上、下金属框-碳环氧内、外面板-蜂窝夹芯采用真空袋整体共固化成型。

5 蜂窝夹结构筒形件研制质量情况

产品外观光洁,无凹陷、突起现象。产品经超声波无损检测未检出缺陷,产品胶接无脱粘现象。其主要性能及尺寸见表3。

表3 蜂窝夹芯结构筒形件主要性能及尺寸

Tab.3 Performance and size of honeycomb sandwich structure cylinder

| 数据来源 | 产品高度/mm | 上端框圆度/mm | 下端框圆度/mm | 同轴度/mm | 缺陷面积/% |
|------|---------|----------|----------|--------|--------|
| 设计值 | 1004±1 | ≤1 | ≤1 | ≤2 | ≤1 |
| 实测值 | 1003.6 | 0.9 | 0.9 | 0.3 | 未检出 |

产品高度以及上、下端框圆度均满足设计要求,铝质模具设计时对热膨胀量的修正满足产品的要求,组装过程中金属端框的定位能满足产品上、下端框同轴度的要求。

6 结论

(1) MT300/648 预浸料满足筒形件的成型工艺和性能要求。通过对胶含量的控制,实现了对碳环氧内、外面板厚度的控制,经控制后的面板厚度为 0.80~0.87 mm,满足要求,并且经无损检测面板内部质量良好。

(2) 采用数控加工工艺保证蜂窝夹芯高度,通过定位保证了蜂窝夹芯下陷的深度。

(3) 解决了竖直状态蜂窝夹芯发泡胶的填充以及蜂窝夹芯与“F”形上、下金属端框的插接的工艺难点。采用经热膨胀量修正的铝质模具通过内、外面板-蜂窝夹芯-上、下金属端框组装共固化的成型工艺,满足产品尺寸一次成型即可达到设计要求。

参考文献

[1] 沃西源,涂彬. 碳/环氧复合材料两次表面镜基板成型工艺研究[J]. 航天制造技术,2006(6):38-41

[2] 原崇新,李敏,顾铁卓,等. 蜂窝夹层结构真空袋固化工艺过程实验研究[J]. 复合材料学报,2008,25(2):57-61

(编辑 吴坚)

(上接第 74 页)

同时在爆破实验的考核下,金属内衬的缺陷区域由于受内压易于首先出现穿透性裂纹,在未能充分发挥外层纤维高强的特性条件下提前泄露,从而降低其爆破强度。所以金属内衬的缺陷控制与消除是复合材料气瓶在生产以及贮存过程中必须着重考虑的问题。

参考文献

[1] 张洁. 国内复合材料气瓶发展及气瓶标准概况[J]. 纤维复合材料,2007,38(3):38-42

[2] 周海成. 纤维缠绕复合材料气瓶的发展及其标准情况[J]. 压力容器,2004(9):32-33

[3] 林再文,李涛,孙浩伟. 几种纤维复合材料压力容器的性能对比研究[J]. 纤维复合材料,2005,22(1):21-23

[4] 冯刚,徐开杰,周才根. 复合材料气瓶的结构、性能

和应用研究[J]. 工程塑料应用,2011,39(7):50-52

[5] 张国. 具有金属内衬的纤维缠绕复合容器的结构分析[D]. 大连理工大学,2003

[6] 黄再满,蒋鞠慧,薛忠民,等. 复合材料天然气气瓶预紧压力的研究[J]. 玻璃钢/复合材料,2001(5):29-32

[7] 张天平,杨福全,王小永,等. 钛内衬碳纤维缠绕氢气瓶的疲劳寿命和可靠度验证[J]. 中国空间科学技术,2007(1):41-46

[8] 莫立华,周倩青,徐全礼,等. 超高强度钢气瓶疲劳裂纹扩展的研究[J]. 压力容器,2000(1):16-21

[9] 陈剑虹,李明娥,余江瑞,等. 热处理工艺对 6061 铝合金显微组织及力学性能的影响[J]. 兰州理工大学学报,2010,36(2):15-17

(编辑 吴坚)