

大尺寸多格栅复合材料框架共固化成型工艺

徐伟丽 张玉生 张璇 朱大雷

(北京卫星制造厂,北京 100094)

文 摘 从铺层工艺优化设计、产品成型压力的保证等方面阐述大尺寸多格栅复合材料框架热压罐整体成型的工艺方法。工程实践证明,将整体结构分解成多个工艺单元,先完成单元铺层,合模后完成剩余铺层的方法可以完成该框架的坯件预成型;软硬模交替使用,软模传压、硬模保证框架几何尺寸的工艺方法能够实现该框架的整体固化成型。制成的产品不仅上、下面平面度等形、位公差满足设计要求,产品的薄厚偏差、胶的含量和产品质量偏差均能控制在允许范围内。

关键词 碳纤维复合材料,工字形多格栅结构,预浸料铺层,成型压力

中图分类号:TB3

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2014.06.011

Co-Curing Molding Technique of Large Size Multi Lattice Structured Composite Framework

XU Weili ZHANG Yusheng ZHANG Xuan ZHU Dalei

(Beijing Spacecrafts, Beijing 100094)

Abstract This article elaborates on the integral forming in the autoclave of large size multi lattice structured composite with particular emphasis on the optimistic design of overlay processing and assurance of forming pressure. It is proved by engineering practice that the ware preforming of such frame can be realized by breaking down the overall structure into multi technique units, in which unit overlay is first completed, followed by rest of overlay after matching molds; and the technique of alternative use of soft and hard abrasives, pressure transmitting of soft abrasives, assurance of frame geometrical size by hard abrasives, can achieve the integral co-curing molding. The products manufactured can meet the designing requirements of deviation of shape and position in terms of flatness of upper and lower surface, and its deviation of thickness, content of rubber and product quality can be also controlled within an allowable range.

Key words Carbon fiber composite, I-shaped multi-lattice structure, Prepreg ply, Forming pressure

0 引言

碳纤维复合材料具有优异的比强度、比模量、抗疲劳和高热稳定性等特征,广泛应用于航天器各类结构中^[1-2]。载荷适配结构为全碳纤维复合材料结构,其外形尺寸 2 200 mm×1 400 mm×100 mm,由 16 个不同形状的框格构成多边形框架,框架截面为工字形,壁厚 4 mm。以往对与此类构件往往采用分步胶接后,再在工装模具的辅助下完成各部分热压罐内固化成型,最后将各部分组合胶接完成。此方法的优点是加工简单,工装简单,零件质量可控;但其缺点是结构连续性被破坏,最终强度和尺寸稳定性很可能无法满足载荷要求。共固化整体成型可一次成型大型复

合材料结构,如机身舱段、大梁、加强框等,大量减少连接件,提高制件性能,降低装配成本,是目前世界上复合材料领域发展的关键技术^[3]。整体成型能保证纤维的连续性,可充分发挥纤维的承载能力,避免采用薄弱的层间来传递载荷。整体成型复杂复合材料构件重点需要解决铺层工艺设计的合理和可操作性以及构件固化压力的可实现性。

国内外对于单一的复合材料工字形梁及由其组成的简单框架的工艺研究有大量报道^[4-5],但对于多个工字形截面框格组成的复杂框架成型工艺的研究较少。本文从铺层工艺优化设计,产品成型压力的保证等方面简述此类型碳纤维复合材料结构热压罐整

收稿日期:2014-09-25

作者简介:徐伟丽,1979 年出生,工程师,主要从事星船复合材料结构成型工艺研究。E-mail:cathymaoxwl@sina.com

体成型的工艺方法。

1 材料选择

纤维,东丽公司 M55J 碳纤维;树脂,自制 BS-4 氰酸酯。M55J/BS-4 单向层合板的弯曲及层剪强度分别为 1 168 和 61 MPa,弯曲模量为 276 GPa。

2 制造工艺

2.1 产品技术指标

载荷适配结构下表面与星体相连,上表面安装相机,确保卫星在轨道运行时,相机长期工作时具有高精度的稳定性,其构型见图 1,根据其使用要求,载荷适配结构应具有:

- (1) 卫星入轨后由于应力释放引起的相机安装面的平面度变形 $<0.05\text{ mm}$;
- (2) 主要尺寸控制:上、下安装面平面度 $<0.5\text{ mm}$,上、下面平行度 $<0.5\text{ mm}$,壁厚均匀;尺寸一致性好;
- (3) 产品内部质量满足 GJB2895—1997 的 A 类要求。

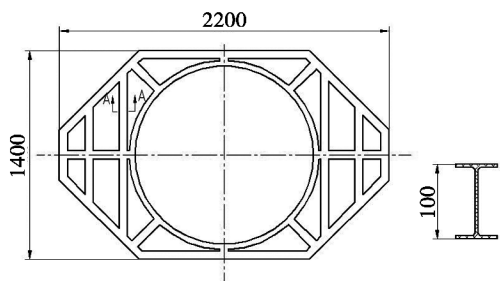


图 1 载荷适配结构示意图

Fig. 1 Diagram of payload adapter structure

2.2 制造工艺难点

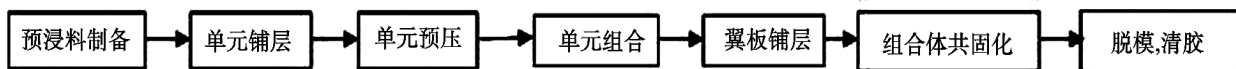


图 3 载荷适配结构工艺流程图

Fig. 3 Processing flow chart of payload structure

2.3.1 铺层工艺设计

根据框架特点,将其分解成多个工艺单元(图 4)。

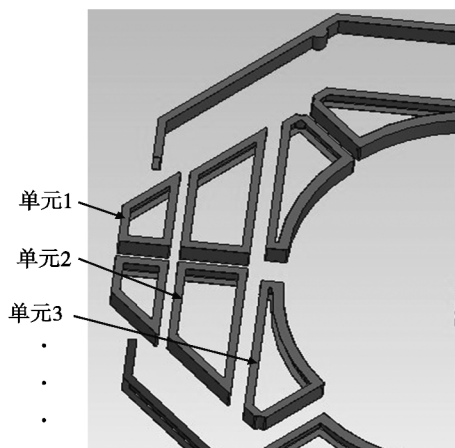


图 4 铺层单元分解示意图

Fig. 4 Decomposition diagram of ply unit

载荷适配结构工艺难度是:

(1) 构型复杂,由 20 条工字形梁、1 条 C 形圆框,共 34 个拐点组成 16 个封闭框格,见图 2。铺层时工艺分解复杂;固化时多个型面感压到位难度大,拐角处易产生分层、疏松等缺陷。

(2) 封闭框格数量多,空间尺寸狭小,模具分离面选择困难,增大了脱模难度。

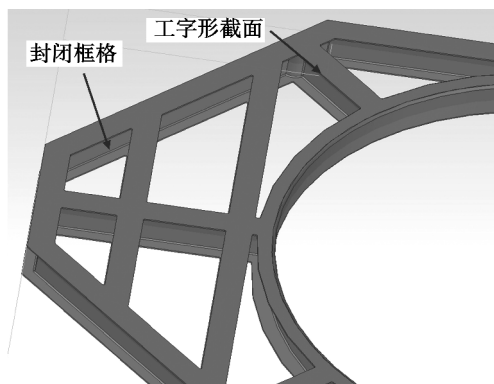


图 2 载荷适配结构局部示意图

Fig. 2 Diagram of partial payload structure

2.3 工艺方案

综合考虑产品尺寸的对称性、加压的可靠性和成型质量的要求,拟采用将整体构架分解成若干工艺单元,各单元独立铺叠预成形为坯件,然后通过定位工装合模组装为一体,完成外侧铺层,最后将框架整体送入热压罐,采用软、硬模结合对产品进行传压,实现一次整体固化成型的工艺方案。具体流程见图 3。

每个工艺单元单独铺叠成 2 mm 厚 C 形结构,然后腹板面相对贴合形成工字结构,腹板厚度达到 4 mm 要求;待各工艺单元合模组装到位后,最后在框架的上、下两个平面上对称铺层,保证翼板 4 mm 厚度要求。

铺层时要注意:

(1) 为了保证铺层角度的对称性,避免固化应力导致的翘曲变形,不能连续铺层的分割成对称的多片进行分段铺叠;

(2) 根据力学计算,结构强度裕度较大,为了保证制品厚度的均匀性,分段预浸料之间采取对接方式;

(3) 纤维对接缝位置的选择和分布,充分考虑框架受力情况和尺寸稳定性需求,对接缝阶梯形过渡设计,避免应力集中;

(4) 单元合模后圆角处需要进行加捻填料处理。

2.3.2 多腔体、工字形面感压设计

复合材料的成型质量,从预浸料铺叠、预压、合模,到产品固化、脱模,都需要借助于合理的工装来完成,所设计模具既要保证制件的尺寸构型,又要确保加压到位和便于脱模。因此,根据此产品的构型特点,拟采用软、硬模结合的工装设计方案。以硅橡胶为阳模,辅助热压罐对产品内腔传递压力;产品的上、下面,外框和内圆采用金属硬模,以保证整体框架结构外形的尺寸要求;同时产品每个几何边都有金属硬模作为成型基准,保证产品内部结构的尺寸精度要求。复合材料制件坯件置于软模与硬模中间,采用硅橡胶辅助热压罐^[6]固化。

模具设计要充分考虑热匹配性,保证产品尺寸精度的要求。图5为金属外框在 x 方向的热变形分析结果。

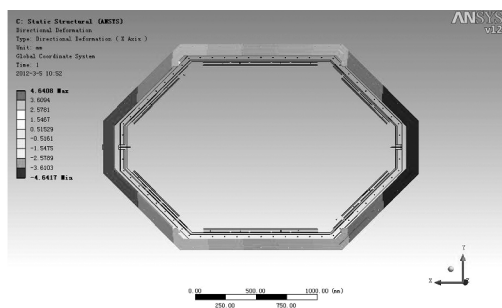


图5 金属外框热变形分析示意图

Fig.5 Diagram of thermal deformation analysis of metal outer frame

另外,金属硬模的设计还要充分考虑在封闭腔腔这种狭小操作空间内的脱模可实施性,模具分体设计,合理选择分离面,按顺序分体脱模。

3 结果与讨论

载荷适配结构框架一次固化成功并顺利脱模(图6)。



图6 载荷适配结构实物局部示意图

Fig.6 Diagram of real part of payload adapter structure

3.1 产品成型质量控制

载荷适配结构经目视检查,外观平整、光滑,无贫(或富)胶区域;树脂质量含量满足 $(30\pm 3)\%$ 的要求;产品厚度偏差不大于理论厚度的 $\pm 5\%$;产品无损损伤,内部质量满足GJB2895—1997的A类要求。这

表明,金属硬模定位、软模传递固化压力,软硬模交替使用的方法适合该复合材料结构件的固化成型,可实现格栅结构的每条边、每个拐角固化时所受压力均匀、到位。

3.2 平面度控制

载荷适配结构上、下表面(固化时贴固化平台的一面称为下表面)的平面度主要与模具平面度加工精度、铺层工艺分解方案、预浸料裁剪和铺贴角度、固化工艺的升降温速率等因素有关;另外产品上表面平面度的保证还要考虑上工艺模板的刚度,即上工艺模板需要有足够的刚度来抵抗升温时硅橡胶膨胀引起的翼板翻边变形。这些因素的工艺参数需要通过分析计算和试验来确定。经检测,产品上、下两个面的平面度实测结果分别为0.4、0.2 mm,均小于0.5 mm,符合设计要求,验证了这些工艺参数的合理性。

4 结论

对于大尺寸、工字形截面、多格栅结构的复合材料框架共固化一体成型,技术难点在于不但要通过合理工艺分解,将这些单元预制成“似产品形状”,然后在共固化模上进行组合,一次成形完成固化,还应保证整体和各局部的尺寸公差。实践证明,这套工艺方案能够较好的解决该类型框架的制造问题,主要体现在以下几个方面:

(1) 将整体结构分解成多个工艺单元,先完成单元铺层,合模后完成剩余铺层的方法适用于该类型复杂格栅框架的坯件预成型。

(2) 软、硬模交替使用的方法可以实现该类型大尺寸格栅结构每个型面所受压力均匀、到位。

(3) 产品上、下表面的平面度以及其他形、位公差通过金属硬模保证,精度较高。

参考文献

- [1] 王奔,高航,郭东明. 树脂固化温度与显微铺放方式对C/E复合材料制孔质量的影响[J]. 机械工程学报,2011,47(12): 19-25
- [2] 车剑飞,黄杰雯,杨娟. 复合材料及其工程应用[M]. 北京:机械工业出版社,2006
- [3] 陈绍杰. 浅谈复合材料的整体成型技术[J]. 高科技纤维与应用,2005,30(1): 6-9
- [4] 彭志霞,叶宏军,翟全胜. CCF-1/5405 复合材料“工”字型加筋的工艺质量控制[J]. 高科技纤维与应用,2011,36(3): 23-26
- [5] 罗楚养,益小苏,李伟东,等. 整体成型复合材料模型机翼设计、制造与验证[J]. 航空材料学报,2012,31(4): 56-63
- [6] 邵蒙,顾轶卓,程勇,等. 胶热膨胀模具设计与纵横加筋壁板成型质量分析[J]. 航空学报,2012(6): 1116-1124

(编辑 吴坚)