

# 复合材料异型构件成型技术

左龙彦<sup>1,2</sup> 田杰<sup>1,2</sup> 诸静<sup>1,2</sup> 王晓蕾<sup>1,2</sup> 居建国<sup>1,2</sup>

(1 上海复合材料科技有限公司,上海 201112)

(2 上海航天树脂基复合材料工程技术研究中心,上海 201112)

**文 摘** 以 H-弯波导为典型构件,对复合材料异型构件成型进行了研究。选用 138℃ 低熔点合金作为芯模材料进行模具设计与芯模模压参数摸索,成型前应用 DELMIA 对铺层过程进行了虚拟仿真,省去预装环节。结果表明:低熔点合金芯模较化学溶解芯模提高了脱模效率,使批量化生产成为可能,为此类异型构件的成型提供了技术保障。

**关键词** 复合材料,低熔点合金,模压,DELMIA

中图分类号:V461

DOI:10.3969/j.issn.1007-2330.2015.02.018

## Forming Technology of Special-Shaped Component

ZUO Longyan<sup>1,2</sup> TIAN Jie<sup>1,2</sup> ZHU Jing<sup>1,2</sup> WANG Xiaolei<sup>1,2</sup> JU Jianguo<sup>1,2</sup>

(1 Shanghai Composite Material Science & Technology Ltd. Co., Shanghai 201112)

(2 Shanghai Aerospace Resin Based Composite Engineering Technology & Research Center, Shanghai 201112)

**Abstract** This paper takes H-bending waveguide as a typical component to study, the forming of special-shaped component. 138℃ of low melting point alloy used in the process of research as the core mould material to mold design and core mould molding parameter are found. The lamination process is simulated with DELMIA, which is benefit for saving the pre-assembly. The results show that using low melting point alloy as core has a high stripping efficiency comparing with chemical dissolved core, which make the batch production possible and provide the technical support for special-shaped components.

**Key words** Composite, Low melting point alloy, Molding, DELMIA

## 0 引言

复合材料成型技术的提高促进航天器构件复合材料化,航天器减重等需求引起的复杂整体结构的设计又反过来推动复合材料研制过程中模具技术、数字化技术等的发展<sup>[1]</sup>。

异型结构波导器件这一典型的航天复合材料构件,主要承担收发信号的功能,为了减轻产品质量,结构中会有减重孔、工艺孔等特征,表面为异型曲面。面结构复杂,精度要求高。

对于形状复杂的波导器件,采用低熔点合金<sup>[2-9]</sup>作为可溶性芯模,模具制造成本低,模具型面精度高,脱模方便,且模具材料可回收再利用。

在制造前,应用软件 CATIA 与 DELMIA,可以实现基于三维数据信息的 3D 工艺规划,进行各种仿真和验证的同时,可以生成 3D 的、图形化的工艺文档和过程演示视频,使工艺方案的评审更加直观和科学。

为研究异型构件整体成型技术,以某 H-波导为

典型构件[三维结构如图 1 所示,宽度边尺寸(16.274±0.022)mm;波导内表面粗糙度在 Ra1.6 μm 以下,材料 USN20000],在产品结构分析、材料选择的基础上,进行工装模具设计制造,并应用 CATIA 和 DELMIA 进行铺层过程仿真和验证。

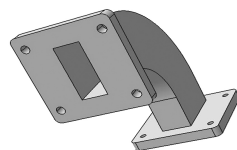


图 1 H-弯波导三维图

Fig.1 3D model of H-bend wave-guide

## 1 模具设计与制造

### 1.1 模具材料选择及结构设计

弯波导内表面尺寸精度要求高,且为异型面,不易脱模,芯模需为一次性芯模。芯模材料的选择上需具备:具有一定的抗压强度,机械加工性能好,易于脱模,易于批产。而所选择的 USN20000 预浸布的固化温度为 120℃,综合产品结构及材料特点,弯波导结

收稿日期:2015-01-20

作者简介:左龙彦,1982 年出生,硕士,工程师,主要从事树脂基复合材料新工艺及数字化研究工作。E-mail:longyanzuo@163.com

构模具采用芯模、外模和标准模架的形式。常用芯模材料及特点如表 1 所示。

表 1 常用芯模材料及特点

Tab.1 Common core material and its characteristic

芯模材料	特点	抗压强度	应用
常规金属	机械加工性能良好	最好	常规模具
水溶性材料	石膏、盐、尿素、陶瓷、聚乙二醇等;水溶性不理想;	一般	金属构件研制
硅橡胶材料	化学稳定性强、无毒性、无腐蚀性能自动充满模具,流动性好室温常压下硫化,硫化速度可控制,便于操作可快速制模,脱模性良好	差	热膨胀模
低熔点合金	熔点低,易熔化,制模方便;合金强度高,模具使用寿命长;流动性好,合金熔化后充填能力强,成模清晰;合金膨胀收缩率小,能保证成模精度;合金与标准样件不粘连,分模容易;合金无毒,不污染环境;模具用完后重熔,合金可反复使用;成模快,可大大减少模具堆放空间	较好	熔点可设计模具材料

采用低熔点合金芯模来保证尺寸精度和脱模问题。由于低熔点合金的熔点要高于复合材料的固化温度,因此在该研究中选择熔点为 138℃ 且工艺性比较好的低熔点合金作为芯模材料(密度 8.5 kg/dm<sup>3</sup>,抗压强度 70.56 MPa,硬度 20HB,线胀系数 0.055/K)。模压模具采用拼块结构,考虑芯模材料线胀系数,如图 2 所示。

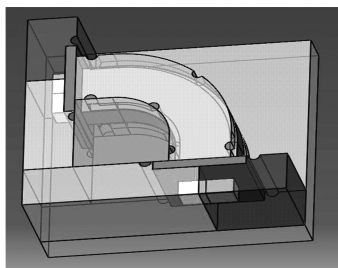


图 2 弯波导成型模压模

Fig.2 Mould of H-bend wave-guide

## 1.2 芯模模压成型

### (1) 工艺选择

低熔点合金工艺性好,可以选择铸造或模压工艺,模压工艺能得到更好的表面和内部质量,因此在该研究中选择模压作为芯模的成型工艺。

### (2) 模压参数确定

当达到熔点 138℃ 时,低熔点合金具有良好的流动性,但是难以控制其密封。因此,需要选择的保压点温度:既能使低熔点合金处于黏流状,保证芯模型腔的满填充,又能使合金不外溢。根据实验结果,选择保压点温度为 130℃。

综上,该低熔点合金模的压制工艺制度为:室温 ~ 130℃;升温速度 ≤ 2℃/min; (130±3)℃ 打压合模后保压 5 ~ 10 MPa,保温 3 h; 130 ~ 25℃ 降温速度 ≤ 2℃/min,保压。模压芯模如图 3 所示。



图 3 芯模成品

Fig.3 Core

## 2 弯波导成型

### 2.1 工艺选择

选择模压成型工艺,具体流程如图 4 所示。

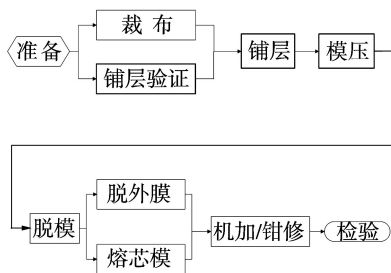


图 4 弯波导制造工艺

Fig.4 Forming process of H-bend wave-guide

### 2.2 铺层虚拟仿真

#### 2.2.1 铺层定义

CATIA V5 软件为复合材料设计提供了一整套完整而专业的解决方案。不同铺层角度由不同颜色标识,根据已设计好的模具和设计要求的铺层顺序将铺层规则在 CATIA 中进行设计,增加工艺余量并进行可制造性分析,铺层定义截图如图 5 所示。

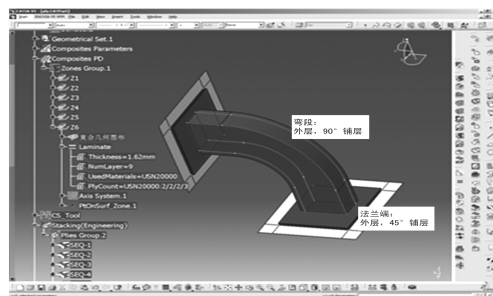


图 5 铺层定义

Fig.5 Definition of laminate definition

由图 5 可以看出,采用区域设计方法,增加工艺余量,将铺层分为法兰端(2 个区域)和弯段(4 个区域)。不同区域铺层规则不同,图中显示最外层法兰区域为 45° 铺层,弯段为 90° 铺层。

#### 2.2.2 虚拟铺层过程仿真

DELMIA 基于达索公司 V5 PLM 整体的、开放的宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2015 年 第 2 期

基础架构,铺层过程仿真(图6)是按照PPR模型(产品 Product、过程 Process、资源 Resource)在资源的辅助下将产品的工艺过程进行仿真。产品为各个铺层的预浸料,过程为预浸料铺覆的过程,资源为在铺覆过程中用到的工具,在本仿真中略去此项。

通过标注显示、创建文本窗口、铺层显示/隐藏和视角变换等功能,对铺层过程进行仿真,可以根据每一工序工时统计,得出最终铺覆过程的总工时。

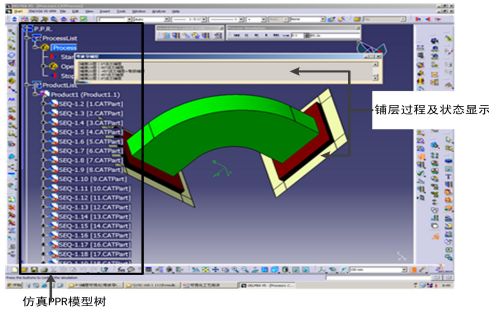


图6 铺层过程仿真

Fig.6 Simulation of Lamination Process

以上仿真过程截图中波导弯段的外层为第20层 $-45^\circ$ 铺层,法兰端为第21层 $45^\circ$ 铺层,即将铺覆 $0^\circ$ 法兰端铺层。将合理的铺层过程生成视频,并应用在铺覆过程中。应用 DELMIA 进行铺层过程仿真可以:

- (1)以增加工艺余量的铺层轮廓准确下料,有效减少原材料浪费大于10%;
- (2)现场操作可以很直观的查看铺层位置、方向和顺序等信息,减少过程中差错;
- (3)将铺层过程中特殊要求添加在状态显示中,省去预装工序;
- (4)使三维工艺生产现场实现成为可能。

### 2.3 成型及固化

弯波导固化曲线如图7所示。

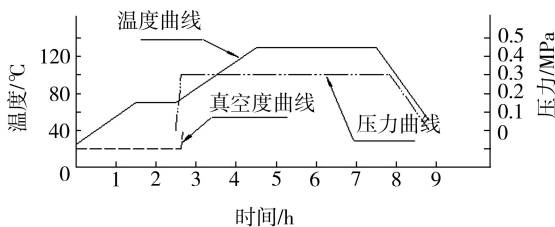


图7 预浸料固化曲线

Fig.7 Prepreg curing curve

模压成型后,脱去标准模架和外模,将弯波导和芯模放入烘箱,升温 $150^\circ\text{C}$ 进行芯模脱模,由化学溶化芯模脱模时间40 d,缩短为2 h。图8为弯波导完

成铺层装模前及模压成型弯波导试件。经样板检验,弯波导精度均达到指标要求。

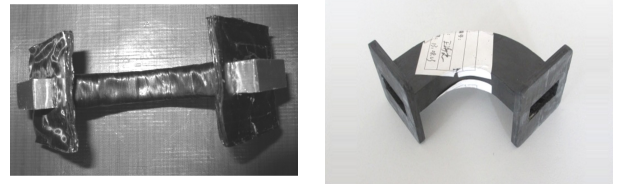


图8 装模前铺层及弯波导试件

Fig.8 Bend wave-guide before and after forming

### 3 结论

以H面弯波导为典型样件,开展基于低熔点合金芯模的弯波导模压成型工艺研究,达到型面尺寸精度和导电性要求。

(1)根据产品材料选择了工艺性好,易于脱模的 $138^\circ\text{C}$ 低熔点合金作为复合材料波导成型的芯模,进行模具结构设计。

(2)通过对低熔点合金性能的探索试验,得到了适用于模压成型的模压成型低熔点合金芯模的工艺参数和曲线。

(3)应用CATIA和DELMIA软件进行铺层建模及铺层过程仿真,对铺层过程进行合理性验证,并研制完成符合设计要求的弯波导试件。

(4)脱模时间由40 d缩短到2 h,明显提高了效率,降低了成本。

### 参考文献

- [1] 董彦芝,刘芑,王国,等. 航天器结构用材料应用现状与未来需求[J]. 航天器环境工程,2010,27(1):41-44
- [2] 沃西源,郭际,常跃东. 碳/环氧复合材料波导研制[J]. 高科技纤维与应用,2001,26(6):15-19
- [3] 张新宇. 浅谈硅橡胶模具的技术及其应用[J]. 机电信息,2010(18):68
- [4] 方耀华,黄诗君,赖旭东. 低熔点合金在复合材料注射成型工艺中的应用[J]. 机电产品开发与创新,2006,19(2):49-50
- [5] 赵长喜. 低熔点合金在复杂薄壁零件制造中的应用研究[J]. 航天制造技术,2006(2):15-18
- [6] 全建峰,王玲,益小苏,等. 用于复杂形状复合材料制造的水溶性芯模材料[J]. 航空制造技术,2009(14):94-97
- [7] 高芳亮. RTM工艺用水溶性芯模材料的制备与性能[D]. 国防科技大学,2010
- [8] 靳秀芝,刘亚青,张彦飞. 低熔点合金在树脂传递模塑中的应用[J]. 中北大学学报,2007,28(增刊):149-151
- [9] 黄来铀,李思宇. 低熔点合金及锌合金快速制模技术[J]. 现代零部件,2004(7):72-74

(编辑 李洪泉)