

机身上壁板复合材料蒙皮数字化成型工艺

梅立 郭鸿俊 尹亮 林琳

(航天材料及工艺研究所,北京 100076)

文 摘 为解决树脂基复合材料复杂结构件工艺难以实现问题,采用三维工艺模型设计、铺层工艺仿真、铺层样片排版与数控下料、激光投影铺层定位等数字化技术,不但从根本上改变了传统的复合材料构件生产方式,解决了工艺技术难题,而且在缩短研制周期、提高产品质量,降低研制成本等方面都取得了显著的应用效果。

关键词 三维工艺模型,铺层工艺仿真,铺层样片排版与数控下料,激光投影铺层定位,数字化技术

Application of Digital Technology in The Upper Panel Composite Skin of An Aircraft

Mei Li Guo Hongjun Yin Liang Lin Lin

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

Abstract Digital technologies, including 3D processing model design, stacking simulation, prepreg NC cutting, laser projection locating, were applied to large composite structure, which played an important role in solving processing difficulties, decreasing the manufacture circle and cost, and improved the products quality.

Key words Digital technology, 3D processing model design, Stacking simulation, Prepreg NC cutting, Laser projection locating

0 引言

复合材料的可设计性,为航空航天领域的复杂产品提供了极大的设计潜能^[1]。轻质、高强度设计要求的飞行器大量应用复合材料,尤其大尺寸复杂结构部分也逐渐采用复合材料,这就为复合材料构件的研制带来了一系列的工艺技术难题^[2-3],而数字化技术不仅能有效解决这些难题,而且在缩短研制周期、降低研制成本和提高产品质量等方面具有显著的经济效益。

数字化技术是应用计算机相关软、硬件及网络环境实现产品设计与制造的一种多学科综合技术^[4-5]。本文以某飞行器大尺寸复杂结构的机身上蒙皮数字化应用为例,详细说明数字化技术在树脂基复合材料构件研制中的应用。

1 某机身上蒙皮复合材料构件结构及工艺要求

某机身上蒙皮采用碳纤维/环氧树脂,其尺寸为4 000 mm×3 500 mm×780 mm,上有4个口框、49个不同类型的筋条和5处过渡区,要求口框、筋条的位置误差 $\leq \pm 0.5$ mm,蒙皮外形误差 ≤ 1 mm。

2 数字化技术在机身上蒙皮研制中的应用

应用传统的复合材料构件生产方式已无法生产这种结构复杂、精度要求相对较高的产品,另外,传统的制造模式生产成本高,效率低的特点也不能满足该项目在成本和研制周期两方面的要求。

2.1 三维工艺模型设计

机身上蒙皮三维工艺模型是其结构设计的最终表达,贯穿于整个机身上蒙皮工艺研制过程。应用复合材料专用设计软件CATIA V5R20和Fiber Sim进行机身上蒙皮三维数字化工艺模型设计,具体设计流程如图1所示。在设计过程中共有三个关键元素:定义蒙皮工艺成型面、建立铺层参考坐标系、蒙皮不同厚度的区域和过渡区的建立。

(1)定义蒙皮工艺成型面,即蒙皮的外形面。根据产品和模具的三维模型,应用CATIA V5R20软件,提取成型曲面,并修补曲面上开孔,通过合并曲面得到成型曲面。结合工艺余量要求,对成型曲面进行外插延伸,得到工艺成型面。

(2)建立铺层坐标系,用来标识纤维的0°方向,像蒙皮这样曲率较小结构,建立笛卡尔坐标系,即坐标系的x轴方向为纤维0°方向,xy平面为纤维所在

铺层的平面或曲面外形的切面。

(3) 区域、过渡区域建模, 区域用来定义层合板的厚度, 具有相同厚度部分为同一区域, 蒙皮有 3 和 4 mm 区域, 3 ~ 4 mm 区域为过渡区。

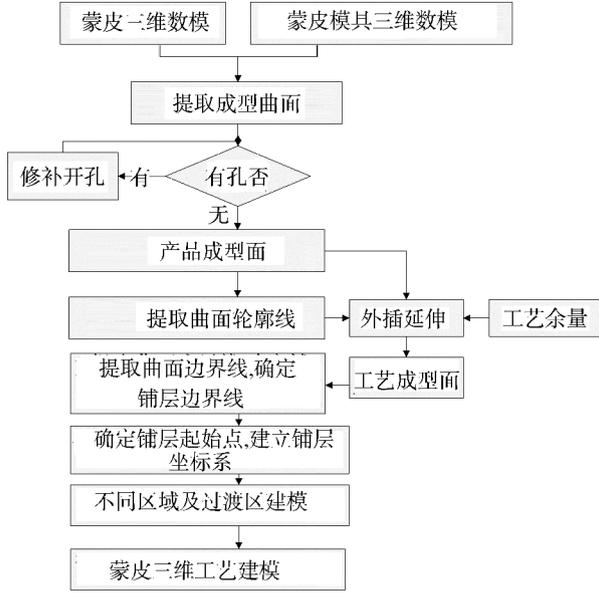


图 1 复合材料构件三维工艺模型设计流程

Fig. 1 3D Processing Model design chart

2.2 铺层工艺仿真与铺层样片设计技术

2.2.1 铺层工艺仿真

在蒙皮的工艺设计中, 应用复合材料工艺设计软件 (Fiber Sim) 进行铺层工艺仿真。Fiber Sim 是集成于 CATIA 系统中的一个软件工具包, 应用 Fiber Sim 调用复合材料数据库中材料信息和 CATIA 中结构信息, 通过计算产品的几何数据、材料数据、结构信息及工艺过程约束数据等得到复合材料在模具表面上的贴合情况, 模拟出纤维如何在复杂的模具面上重新取向、起皱、断裂等问题, 并把各种问题用不同颜色形象地表示出来, 如图 2 所示, 蓝色区域表示铺覆正常; 黄色区域表示轻微起皱。

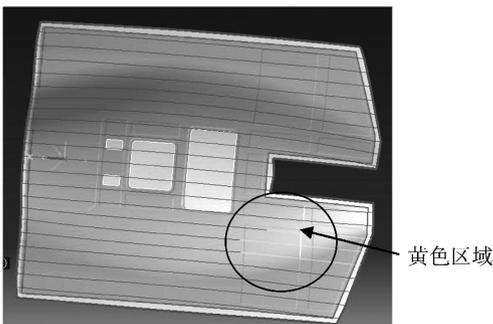


图 2 铺层工艺仿真结果

Fig. 2 Stacking Simulation result

2.2.2 铺层样片设计技术

因为预浸料幅宽限制, 对于像蒙皮这样的大型复合材料构件通过 Fiber Sim 进行可制造性分析, 铺层宇航材料工艺 <http://www.yhclgy.com> 2012 年 第 4 期

样片超出材料的幅宽限制, 这时需要在适当的位置将样片进行分割。在分割时, 通过偏置对接区, 使样片分割更加合理。蒙皮的层间铺层, 要求尽量减少样片对接缝, 所以需要不断调整偏置量以得较少的材料幅宽线。如图 3 所示, 设计第一层 45° 铺层时, 在偏置量为 0 时, 预浸料层间被划分为五个区域, 偏置量调为 50 mm 后, 由五个区域减少到 4 个区域, 这样在铺层时, 只会产生三条对接缝, 4 个层间样片, 直接减少了铺层对接工作量。

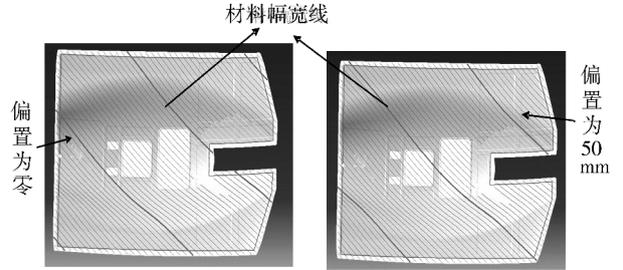


图 3 不同层间区域划分、对接偏置量实例

Fig. 3 Different splice ply areas and offset splice curves

铺层层间样片确定后, 需要对其进行二维展开, 在展开时既要保证样片能够展开, 还要保证展开的样片铺到模具型面上边界一致, 存在较大的困难, 需要不断调整铺层起始点的位置、剪口数量及位置等影响因素, 只有不断优化铺层起始点或增加剪口数量, 才能得到相对较准确的铺层展开。但剪口数量如果太多, 则会打断纤维的连续性, 影响到构件的整体性能, 且增加铺层难度, 这时需要反复调整对接区位置才能得到较好的展开图形, 在蒙皮的铺层展开中, 因为其曲率较小, 铺层展开相对简单, 第一层铺层层间样片展开图如图 4 所示。

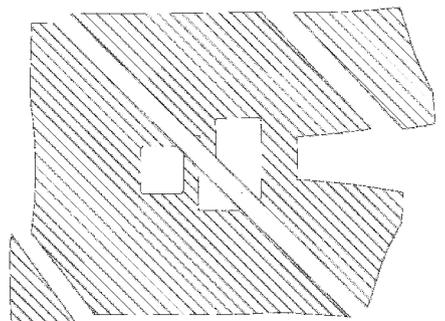


图 4 铺层样片展开图

Fig. 4 Flat pattern of a ply

2.3 铺层样片排版与数控下料技术

应用 Fiber Sim 生成的铺层样片展开图, 输出为 DXF 或 IGES 格式的图形文件, 应用 Auto CAD 为各个样片编号、标注铺层方向等, 然后应用排版软件 Accu Mark 进行排版。因为机身上蒙皮为批量生产, 可以实现套裁, 大大提高材料利用率。

排版完成后, 应用美国 Gerber 公司 DCS2500 数

控下料机进行下料,如图5所示。把排版文件输入到数控下料电脑中,进行切割模拟调整走刀路径,然后在下料台面上铺覆预浸料,通过真空吸附方式将预浸料固定在下料台面上,进行数控切割。切割完成后,应用标签机在每块料片上打印出样片信息,包括铺层编号、层间编号、角度等。

DCS2500下料机切割精度为 ± 0.5 mm,定位精度 ≤ 0.5 mm,最大切割速率为40 m/min,应用排版和数控下料技术,在材料利用率、下料效率、下料精度上相对手工下料都有大幅度的提高。



图5 预浸料自动下料设备
Fig. 5 Prepreg NC cutter

2.4 激光投影辅助铺层定位技术

蒙皮铺层时,需要应用激光投影辅助铺层定位设计准确定位的位置有4个口框、49个筋条、5个过渡区及产品边界共58处。应用德国LAP公司的激光投影铺层定位设备进行辅助铺层,激光投影定位技术是利用投影头将Fiber Sim产生的铺层样片展开图投影到蒙皮模具上,投影线为小于5 mV对人眼安全的绿光束,操作人员按照样片的铺贴顺序依据投影线进行铺层即可,激光投影设备如图6所示,投影效果如图7所示。

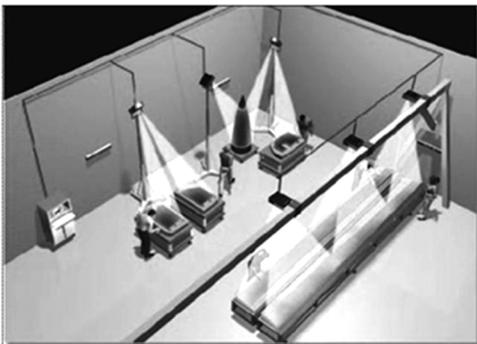


图6 激光投影定位设备
Fig. 6 Laser projection locating

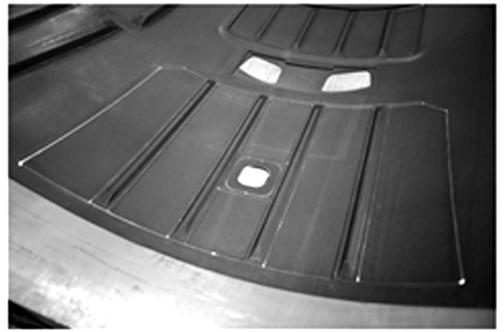


图7 激光投影铺层图
Fig. 7 Laser projection locating lines

应用激光投影技术,不但提高了铺层定位精度,而且消除了传统方式的手工下料样板和铺层定位样板,极大的降低了制造成本,提高了工作效率。

3 结论

应用三维工艺模型设计、铺层工艺设计与仿真、预浸料数控下料、激光投影辅助铺层定位等数字化技术,不但解决了某飞机上壁板蒙皮成型工艺的技术难题,而且提高了研制效率和产品质量、降低了成本,取得了显著的经济效益。与传统的制造模式相比,具有明显的优势,但和发达国家的数字化应用范围和水平相比较,还有较大的差距,需要在复合材料构件数字化设计/制造一体化建设方面加强引进国外先进设备与技术,加强专业人才培养,努力寻求降低复合材料构件设计、制造、检测和管理全过程的各种数字化途径,使其应用于更多型号的复合材料构件研制中。

参考文献

- [1] 白明光. 先进制造技术的发展趋势及先进制造模式[J]. 北京机械工业学院学报,1999,14(2):10-14
- [2] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,2001:20-151
- [3] 张丽华. 飞机复合材料构件并行数字化定义及其应用[D]. 北京:北京航空航天大学,2008
- [4] 白树城,蔡良元,等. 数字化技术在大型雷达天线罩生产中的应用[J]. 航空制造技术,2007(8):53-55
- [5] 李薇,杨楠楠,高大伟. 数字化技术在复合材料构件研制中的应用与研究[J]. 航空制造工程,2006(3):32-37

(编辑 吴坚)