

复材制件数字化制造及先进设备的应用

Digital Manufacturing of Composites Part Based on Application of Advanced Manufacturing Equipment

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 吕 雪 蒲永伟

[摘要] 随着复材零件结构的日益复杂,传统复合材料生产模式很难满足其精准化要求,复合材料数字化软件的开发使零件的制造过程更加便捷,同时能够满足对零件尺寸精准的验收技术要求。分别以某型号壁板、蜂窝夹层件两类典型的零件作为研究实例,利用数字化软件对制造过程进行优化,开展数字化制造可行性研究,辅以数控下料机、激光铺层定位仪、自动铺带机等先进的数字化设备,更好地保障飞机构件外形的精度。复合材料制件实行数字化制造后,不但降低了生产成本,保证了零件产品的质量,而且有效推进了复合材料零件制造技术的发展。

关键词: 复合材料 数字化制造技术 CATIA 软件 数字化设备

[ABSTRACT] With the increasing of complexity of composites structural parts, the traditional production mode of composites is unable to meet the precise requirements, the development and utilization of digital software not only simplify the manufacturing processes, but also meet the technical requirements. Taking the composites panel and the honeycomb sandwich part as an example, researches on digital manufacturing feasibility supplemented with CNC cutting machine, laser layer location instrument and digital automatic paving machine etc are carried out, in order to guarantee the precision of the aircraft component shape. Digital manufacturing of composites can reduce the production cost and enhance the quality of production, which effectively promotes the development of composites manufacturing technology.

Keywords: Composites Digital manufacturing technology CATIA software Digital equipment

随着数字化信息技术的迅猛发展,数字化信息技术作为当代生产力发展的主导因素,其应用程度成为一个行业乃至一个国家竞争力的重要评判标准。数字化的发展深刻地改变了传统航空制造业模式,将数字化技术与航空制造技术相融合,实现对制件数字化的设计与制

造,不但缩短了制造周期、提高了制件的质量,而且可以大幅降低生产成本,因此是制造企业和生产系统发展的必然趋势。数字化制造是制造技术与计算机网络技术交叉与应用的结果,它将产品结构特征、材料特征、制造特征统一起来,通过数字化表征,实现不同层面的数字化仿真。以数字化为核心的制造技术已经成为制造业发展的重要支撑和基础^[1]。

作为航空四大结构材料之一,先进复合材料日益在航空航天领域受到重视,先进复合材料在飞机上的使用比例已经成为衡量飞机制造技术先进性水平的标志^[1]。先进复合材料因具有密度低、比强度高、耐腐蚀、热膨胀系数低以及耐疲劳等优异性能而作为结构/功能一体化材料,在航空航天领域、耐高温过滤领域、国防尖端军事武器领域及民用等领域中广泛应用并起着不可替代的作用。

复合材料制件要实现数字化设计制造必须辅以数控下料机、自动铺带机、激光铺层定位仪等先进的数字化设备,才能更好地保障飞机构件外形的高精度、蒙皮与长桁的配合协调及蜂窝件结构的精度等。将数字化用于复合材料制造过程,并辅以自动化设备可大大提高产品制造过程的质量和效率,增强市场竞争力。先进的制造工艺、智能化软件和自动化设备的发展战略构成企业未来竞争的软、硬件资源。

本文主要介绍了运用数字化软件辅以自动化设备,最终成功实现零件制造的数字化、精密化、高效化以及对复材制造领域的展望。

1 复合材料数字化制造技术

碳纤维复合材料作为最有前景的材料之一,价格昂贵、生产周期长,这限制其发展与应用,因此在生产过程中降低生产成本具有十分重要的实际意义。早期复合材料制件生产依托图纸设计,通过图纸制作出铺层样板,并以此为制造依据,操作者利用标准化的模线、样板将预浸料裁剪出相应尺寸的料片,手工铺叠直至固化形成最终产品,这种传统的复合材料的制造模式为国内复合材料的起步作出了重要贡献。

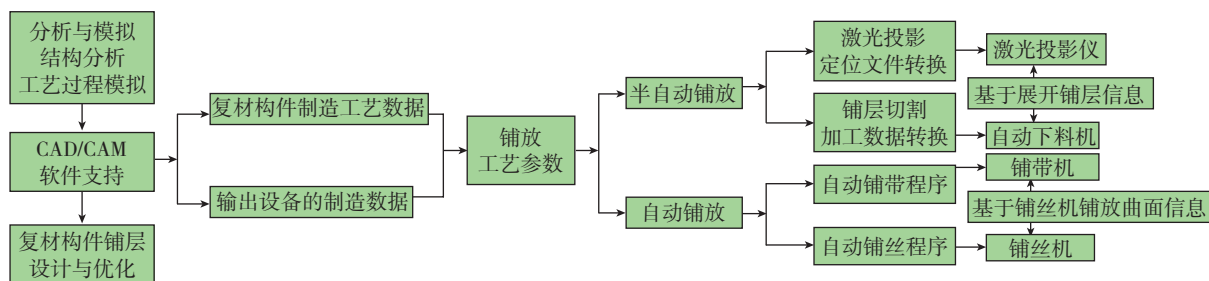


图1 复合材料工艺设计

Fig.1 Design of composites process

1.1 传统复合材料零件生产线存在的问题

(1) 复合材料零件的制造必须依托工装、样板来实现,通过模线样板的比对才能完成零件外形的下料,受人为因素制约很大^[2];

(2) 在传统的复合材料制造过程中由于缺乏材料基础信息和分析手段,不能对铺层展开进行有效分析和判定,对预浸料的铺叠过程也无法有效监控;

(3) 铺叠过程以手工操作为主,很难实现精准铺叠定位。

随着复合材料制件铺层结构变得复杂且多样化,传统复合材料生产模式的缺点日益凸显,体现为生产效率低下、制件质量稳定性差,这些缺点严重阻碍复合材料制造业的发展。

为了解决传统生产线出现的问题,实现“高质量、高效能、低成本”的生产模式,必须对传统的生产方式进行优化调整。摒弃传统的复合材料制造模式,以数字量传递的方式实现产品构型的工程化,同时对工艺过程模拟分析,最大化地优化工艺路线工艺参数的制造模式。不但可以满足现代检测技术对复合材料零件的验收要求,而且可以保障产品的质量。以数字化制造技术解决生产线固有问题已成为行业的共识。

数字化生产的理念根本在于将所有的流程变成可控的可追溯的数字量传递,利用先进的数字化技术(依托CAD/CAM软件的支撑)从设计源头获取制造数据,同时将制造数据、工艺参数通过相应的数据接口进行文件转换,传递给自动下料机、激光投影仪和自动铺带机等制造生产设备,如图1所示。有效地保证设计、分析、制造数据源的唯一性,真正做到复合材料CAD/CAM一体化,便于数字量传递。复合材料数字化软件支撑是发展复合材料数字化设计/制造能力的基础。数字化生产能很好地解决零件精度的难题,通过复合材料数字化软件的二维展开功能,直接生成下料展开文件,应用自动下料机进行精确切割,在铺叠时应用激光投影仪进行加强层和长桁的定位,直接进行铺叠。不但可以提高零件的质量,还省去下料、定位样板,而且也大大提高零件

的生产效率,给制造提供方便。

飞机制造过程是设计模型到实物传递的过程,随着数控技术和计算机技术的发展以及复材精准制造软件的相继出现,复合材料制件的数字化应用、制造一体化不仅可以提高产品的研制效率,还可以降低生产成本。

2 传统壁板零件数字化制造实际应用

以某传统型号壁板为研究对象,开展数字化制造可行性研究,通过设计图纸的铺层区域信息,零件的理论外形面、关键梁肋轴线在飞机坐标系中的空间占位,利用FiberSIM软件建立工程数模,转化成制造用的自动下料、激光投影数据,在飞机坐标系中将零件和工装进行关联拟合,实现传统复合材料壁板的数字化制造。传统复合材料壁板的数字化制造,增加了逆向建立复合材料数学模型、工装与数学模型关联拟合等研究内容,其流程如图2所示。采用图纸转化为数模这种数字化制造模式改进传统机型壁板的生产实属首次,这种模式对于传统机型零件的生产具有里程碑意义。

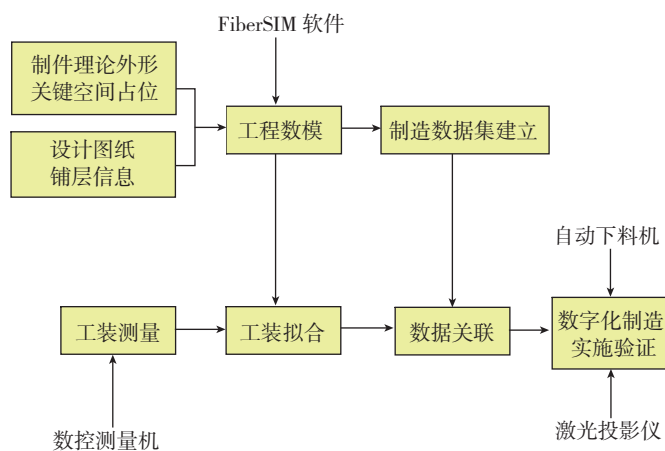


图2 复合材料零件数字化制造流程

Fig.2 Digital manufacturing flow of composites parts

2.1 数字化制造过程的设计思路

早期复合材料壁板以手工为主,其精度低、蒙皮厚度过渡区位置偏差大,与其他零组件装配区配合不好,

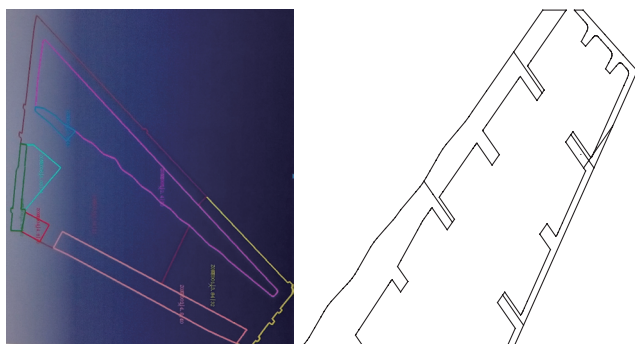
最终导致成型构件的超差, 这些问题对制造能力带来了巨大挑战。通过对壁板结构进行分析, 在原设计数据基础上, 依托数字化设计制造专用软件 CATIA V5 和 FiberSIM 智能优化平衡设计和制造之间的关系, 提高制造效率, 完成复合材料零件从设计到工艺再到生产制造的数字化传递流程^[3]。

利用 FiberSIM 软件建立数学模型赋予材料的基础信息, 见表 1。

以图纸的基本信息作为工程数模设计基础, 通过数字化定义转为激光投影文件^[4]。采用 FiberSIM 中的区域建模, 定义贴膜面后, 选择建模的位置。根据具体的

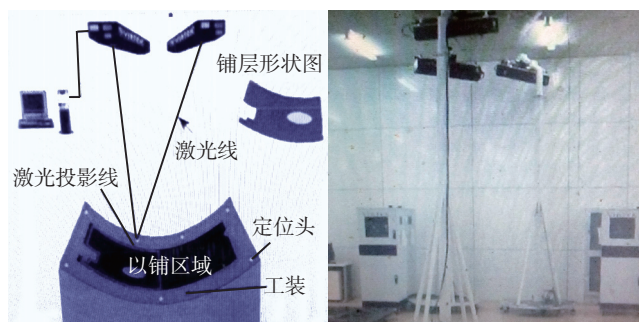
表1 材料基础信息及其具体功能

材料信息	材料信息值
材料牌号	CCF300/QY9511
预浸料	Uni
角度变形≤警告值	2°
极限值	4°
固化前材料厚度	0.127mm
固化后材料厚度	0.12mm
材料幅宽	300mm
单位	Metric



(a) 分区示意图

(b) 铺层下料图



(c) 激光投影定位系统

图3 数字化建模及激光铺层定位应用

Fig.3 Application of digital modeling and laser positioning instrument

结构在该贴膜面上划分不同的区域, 见图 3 (a), 在分析无错误的情况下可以由区域生成铺层。

FiberSIM 软件提供分析功能, 为零件前期预浸料铺叠工艺过程提供准确的评估。工程数模并不能直接应用于生产, 必须将其转变成自动化设备可识别的制造数据, 主要包括两个方面: 以铺层为基础的展开裁层数据用于预浸料剪裁, 实现对各铺层预浸料精准的外形切割, 避免使用切割样板带来的误差。对于该壁板零件而言, 每一铺层分割的切片, 如图 3 (b) 所示。

以激光投影仪为媒介的投影文件数据用于铺层定位, 如图 3 (c) 所示。激光投影定位避免了传统方式利用铺叠定位样板和铺贴模表面的铺层边缘线定位, 实现了制造的精准化。

2.2 壁板的数字化制造

传统工艺改用数字化制造以来, 复材壁板实施了多件产品验证, 如图 4 所示, 质量稳定性和制造效率都得到了极大提高。铺层数据文件直接来源于零件数模, 保证了零件制造依据的一致性。当零件铺层多且形状复杂时, 利用激光投影仪效果显著。当设计更改零件尺寸时, 只需重设铺层数据文件, 避免传统方式下不必要的浪费。



图4 复材壁板零件图

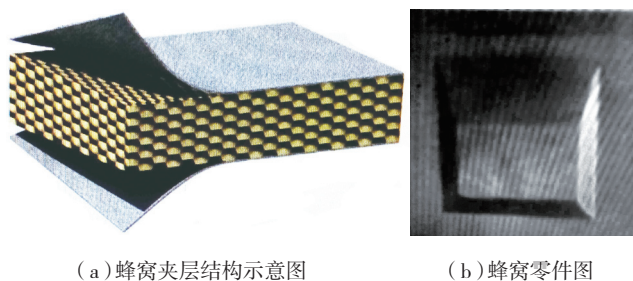
Fig.4 Picture of composites panel

3 蜂窝夹层类零件的数字化制造应用

3.1 蜂窝夹层结构制件

飞机的复合材料夹层结构通常采用先进复合材料做面板, 其夹芯为轻质材料, 可较大幅度地减轻飞机构件的重量。蜂窝夹层结构件是由二层或多层蒙皮与蜂窝通过胶接技术胶接而成的结构件(见图 5)。这类结构件具有优异的比强度、比刚度以及重量轻等优点。目前, 蜂窝夹层结构已经大量应用于各种类型飞机的设计与制造中, 比如波音 747 的地板、欧洲直升机工业公司的 101 直升机螺旋桨旋翼以及 B58 高速轰炸机(蜂窝夹层面积占 85%), F1 战斗机中夹层结构的使用面积达到了 90%, 国产直九 Nomex 蜂窝夹层材料的用量覆盖整机面积的 80% 以上。

蜂窝夹层结构的形式也从平面单块蜂窝扩展到 U



(a) 蜂窝夹层结构示意图

(b) 蜂窝零件图

图5 蜂窝夹层结构零件

Fig.5 Parts with honeycomb sandwich structure

型多块蜂窝。这种复杂的结构对我国的复合材料夹层零件的制造水平提出了更高的要求。以某型号的整流罩壁板为研究对象,采用数字化制造,应用数控下料机、激光定位系统是最终实现该类U型多块蜂窝构件蜂窝芯的精准制造的唯一途径,奠定了蜂窝夹层类零件数字化制造坚实的技术基础。该U型大曲率碳纤维蜂窝夹层结构,在U型两侧各分布5块蜂窝,长、宽均为500mm,间距为40mm。制件整体长度2500mm,弦长700mm。该构件曲率较大、蜂窝芯间间距小,更增加了蜂窝成型、精准定位的难度。

3.2 基于数字化技术实现蜂窝夹层结构精准制造

传统的蜂窝夹层结构多采用手工铺叠为主,其精度低、蜂窝定位难。而依托CATIA软件的CPD模块的数字化软件将三维数据转换成二维数据,同时将铺层数据信息传入数控下料机、数控高速铣切机和激光投影定位系统,有效地解决这一难题。一方面数控铣切设备既可以满足蜂窝件的高效、优质、精加工,又能确保蜂窝结构件加工的质量和效率;另一方面根据投影线可以精准地进行零件的铺叠、定位,与传统手工操作相比,蜂窝夹层类结构零件应用数字化制造后工作效率大幅度提高。

采用CATIA CPD软件对蜂窝夹层零件进行前期的工艺评估可以避免零件在铺叠的过程中产生预浸料的堆积、褶皱等现象。为CPD软件对零件每一铺层进行展开分析,包括对超过材料幅宽的料片进行切片、剪口、裁断等以及可制造分析。

CPD软件可以与零件设计数模无缝连接,便于制造过程使用。CPD模块提供了铺层设计功能,也提供了生成制造数据(如展开等)的功能。即通过CPD模块将零件数模铺层进行详尽分析(针对铺层的角度和边界)并加以优化设计;同时生成输出设备所需的制造数据、铺放工艺参数(下料文件和激光投影文件);最终输出到各自的设备完成零件的铺叠。这两者的有机结合最大程度保证了数据传递的准确性,简化了工艺流程。CPD软件实现了零件的设计、分析与制造间

的数据传递,通过在复合材料构件制造引入数字化技术,可以保证设计、分析、制造数据源的唯一性、可靠性。

传统模式下的复材产品实现数字化制造尚需进行大量研究,这是因为复材产品的原材料都是平面二维形态的预浸料,从设计数据到零件产品的过程需对铺层展开转化成制造数据,在整个过程中实现精确传递是实现数字化制造的关键。因此突破传统的设计模式,实现快速流畅的数字量传递,对于提高制造效率以及改善复合材料产品的质量意义重大。复合材料制件采用CPD软件作为设计平台,对蜂窝构件进行生产前数字化分析、建模,同时应用数控下料机、激光投影、五坐标数控铣切最终实现蜂窝类复材制件的精准制造。

复合材料零件应用数字化制造技术主要优势体现在应用数字化的手段对铺层效果进行了分析和预测,将制造信息输出到各自的设备,最大程度地降低了人为因素的影响,使产品的精度和重复定位精度都得到了保障,更为显著的优势是对后续装配的支持。以数字化技术制造的壁板蒙皮具有与理论数模最为契合的内表面,对后续长桁胶接装配和部件装配都予以了极大支持,U型多块蜂窝采用数字化制造实现了夹层类结构的精准制造。

4 结论

复合材料零件的数字化设计与制造技术,解决了高精度壁板、U型多蜂窝夹层结构在实际生产中的技术难题,提高了下料和定位的精度。复合材料构件实现数字化制造后,节约了大量生产资源和制造成本,不但极大地提高生产效率、产品精度,保证了产品质量,减少人工操作误差,而且对于后续其余传统机型零件的生产改进具有革新性意义,有效推进了复合材料零件制造技术的发展。只有将数字化技术全面运用于复合材料制作中,才能不断增强我国复合材料制造水平和综合国力。

参考文献

- [1] 徐荣欣,张庆茂,杨军. 复合材料构件数字化建模技术研究,航空制造技术,2010(9):64-67.
- [2] 赵渠森. 先进复合材料手册. 北京:机械工业出版社,2003.
- [3] 张丽华,范玉青. 飞机复合材料构件设计、分析和制造数据集成. 北京航空航天大学学报,2008,34(4):452-482.
- [4] 张丽华,范玉青. 复合材料在飞机上的应用评述. 航空制造技术,2006(3):64-66.

(责编 叶枫)