

飞机蒙皮多点模具拉形制造 应用体系研究*

Research on Multi-Point Mould Stretch Forming Process Application System for Aircraft Skin

北京航空航天大学机械工程与自动化学院 李东升 于成龙 李小强
中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 杜宝瑞 彭浩云 石冉



李东升

工学博士,北京航空航天大学航空宇航制造工程学科教授、博士生导师。主要从事现代飞机制造工艺、钣金数字化制造技术、柔性工装技术等方面的教学和研究工作。主持完成国家自然科学基金、航空科学基金、国防预研基金、国家863、总装国防预研及厂所合作项目等30余项。获国家科技进步二等奖1项、国防科学技术一等奖1项,拥有国家发明专利10项。

蒙皮拉形是一项重要的航空钣金成形工艺,飞机蒙皮零件主要采用

蒙皮多点拉形制造应用体系主要包括工艺设计系统、工艺仿真及优化系统、拉形机运动仿真系统、数控拉形、数字化测量和切边等系统。其中,工艺设计系统、工艺仿真及优化系统、数控拉形机运动仿真系统是蒙皮多点拉形制造应用体系重要的组成部分。

拉形工艺进行生产制造。目前,飞机蒙皮拉形采用的实体模具,每项蒙皮均需要一套模具工装以实现蒙皮的生产制造,且需要反复的修模和试生产,导致模具工装数量多、生产准备周期长、模具制造成本高。近年来发展的多点模具技术是解决实体模具拉形缺陷的有效途径,多点模具的基本思想是把连续的模具型面离散为一系列排列规则、高度可调的钉柱包络面^[1],通过调整模具的钉柱高度,可组合形成不同的模具型面,因而不需更换模具即可实现多种形状蒙皮零件的拉形。多点模具技术引起了广泛的关注,国内外很多学者对该技术进行了研究^[2-8],并且已逐渐进入实用阶段。

多点模具成形技术是一种新型

的成形工艺,但仅仅依靠多点模具本身无法完成蒙皮零件的制造,必须有配套的系统提供支持^[8],如图1所示。为了实现蒙皮零件的多点模具拉形生产制造,满足国内航空工厂数字化、柔性化的制造要求,需要以多点模具为核心,建立相关的制造应用体系,本文基于中航工业北京航空制造工程研究所自主研发的大型工程化的多点模具,对飞机蒙皮多点拉形应用技术体系进行研究。

蒙皮多点拉形制造应用体系

蒙皮多点拉形制造应用体系主要包括工艺设计系统、工艺仿真及优化系统、拉形机运动仿真系统、数控拉形、数字化测量和切边等系统(图2)。其中,工艺设计系统、工艺仿真

* 国防基础科研项目(B0520060440)资助。

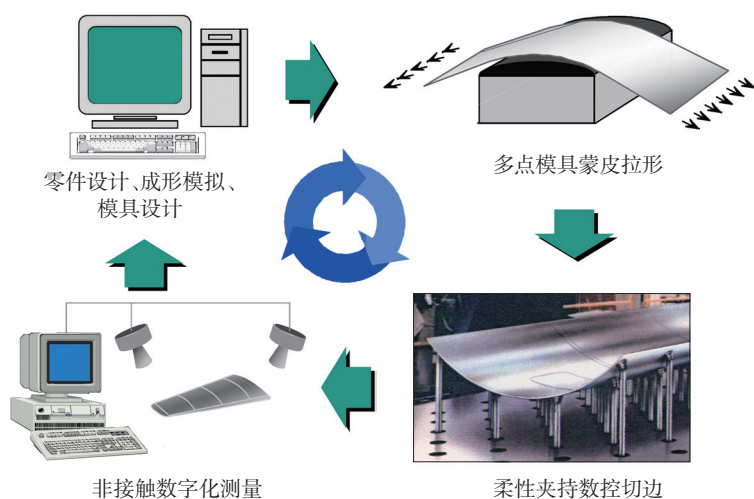


图1 蒙皮多点拉形数字化制造应用体系

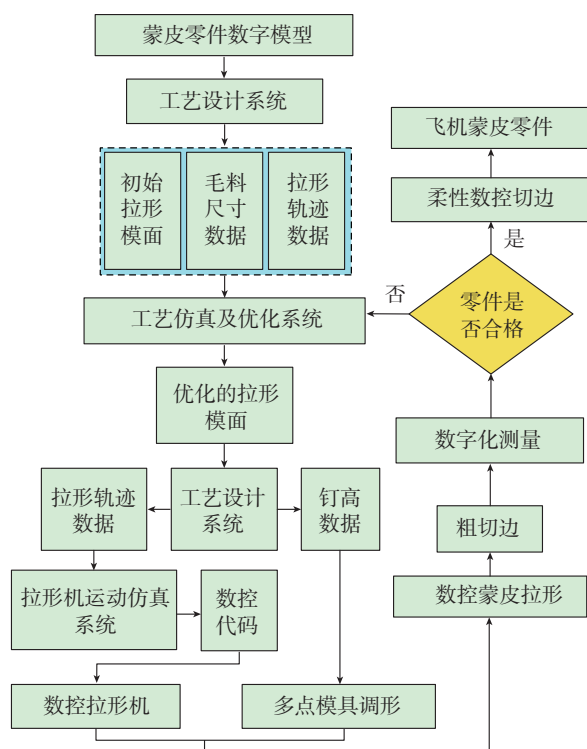


图2 蒙皮多点拉形制造应用体系流程

及优化系统、数控拉形机运动仿真系统是蒙皮多点拉形制造应用体系重要的组成部分。

蒙皮多点拉形制造应用体系关键技术

1 工艺设计系统

工艺设计系统是整个制造系统的基础,其主要功能是为工艺仿真及

优化系统提供毛料数据、模面数据和拉形轨迹;为数控拉形机运动仿真系统提供拉形轨迹数据;为多点模具提供钉高数据。工艺设计系统的工作流程如图3所示。根据拉形零件的数字模型,由CATIA提取零件的外形信息作为拉形几何模面,并对几何模面进行工艺补充,得到初始拉形模具型面,然后以该模具型面为参

考计算毛料尺寸、拉形轨迹、钉高数据等,其中,毛料尺寸的计算为根据模具型面和数控拉形机的设备参数,设计毛料的尺寸;拉形轨迹的计算为根据模具型面的特点设计拉形过程夹钳钳口的运动轨迹;钉高数据即为根据模具型面设计多点模具钉柱的高度调形数据,多点模具可由钉高数据调形得到模具型面表征的钉柱球头包围面。

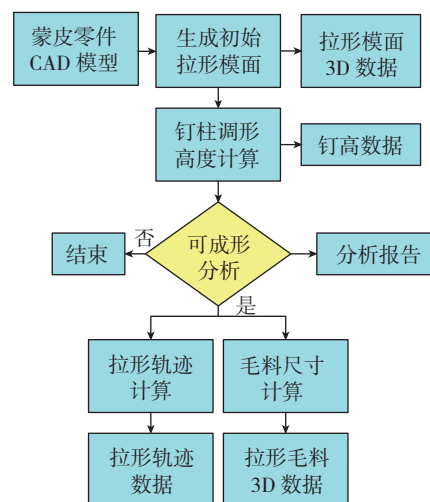


图3 工艺设计系统流程

2 工艺仿真及优化系统

多点模具拉形除零件本身的回弹外,垫层的变形也是影响拉形零件与理想零件几何差异的重要因素。回弹和垫层的变形严重影响了蒙皮的制造精度。在蒙皮拉形工艺过程中,对回弹以及垫层变形进行补偿是提高零件成形质量、减少修模次数甚至完全消除修模的关键,其流程如图4所示。首先根据拉形数字模型,由拉形工艺设计系统计算得到拉形模具型面、拉形轨迹和板料等数据,并在此基础上采用Pam-stamp有限元软件建立蒙皮拉形过程的有限元模型;然后对拉形及回弹过程进行模拟,并将回弹结果与理想模具型面进行比较,如果回弹后的零件能够满足精度的要求,则输出优化的模具型面;如果未达到精度的要求,则对当前模具型面进行补偿,并重新计算和

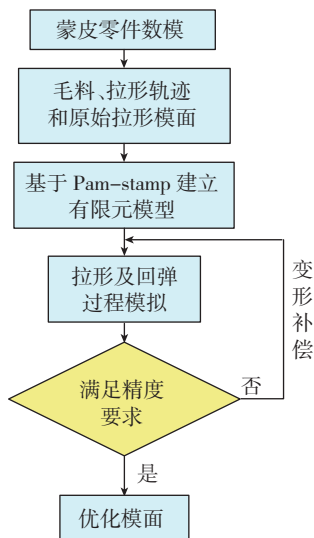


图4 飞机蒙皮多点模具拉形工艺仿真及优化流程

判断,直至回弹后的零件能够满足精度要求。

3 拉形机运动仿真系统

成形设备的运动仿真技术可使人们预先看到零件的制造过程,及时发现生产过程中可能出现的轨迹错误、意外碰撞等情况。为满足生产和实验方面的需求,本文对 FET600 型数控拉形机运动仿真系统和数控代码生成方法进行研究,其中 FET600 型数控拉形机的多点模具拉形示意图如图 5 所示。运动仿真系统通过读入拉形轨迹,根据拉形轨迹和拉形机运动参数转换算法,计算拉形机各零件的位置,然后对该拉形轨迹条件下拉形机的运动情况进行模拟仿真。拉形轨迹与拉形机运动参数的转换的思想是在输出机构上建立动态坐标系,在任一个驱动件或相对于驱动件静止位置上建立动态坐标系,根据拉形轨迹求得动态坐标系各方向轴在静态坐标系的方向余弦矩阵 T 和数控拉形机的关节在动态坐标系的位置矢量 R' 后,通过式(1)变换到静态坐标系中的位置矢量 R 。并通过计算各作动筒的伸缩数据,得到数控代码,从而可输入数控拉形机控制机床的运动。

$$R=TR'+O_d, \quad (1)$$

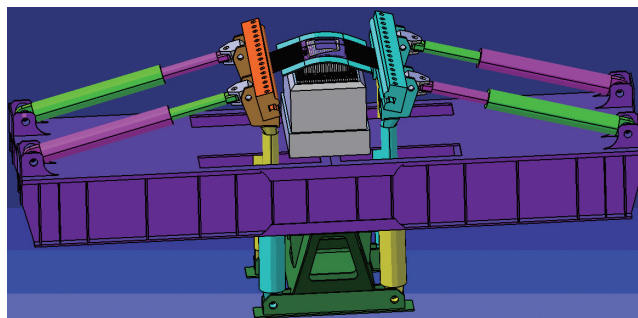
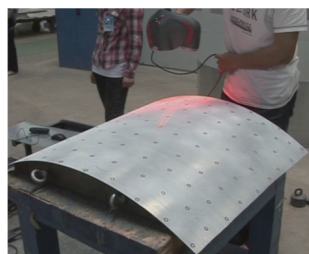


图5 FET600型数控拉形机多点模具拉形示意图



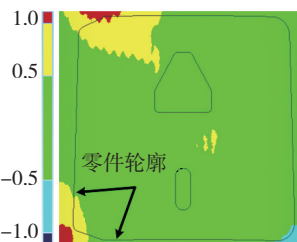
(a) 数控多点模具拉形



(b) 数字化测量



(c) 零件毛坯



(d) 结果分析

图6 蒙皮零件多点拉形及结果图

其中, O_d 为动态坐标系坐标原点在静态坐标系的位置矢量。

蒙皮多点拉形制造应用体系的应用

下面以某型号的蒙皮零件为例,应用图 2 说明的蒙皮多点拉形制造应用体系流程进行实际蒙皮零件的加工制造,说明该系统的实用性。首先根据零件的数字模型由工艺设计系统计算得到初始模具型面、毛料和拉形轨迹,并将生成的数据导入工艺仿真及优化系统,生成优化的模具型面,其中的毛料数据作为实际备料的依据。根据优化的模具型面,再次应用工艺设计系统计算得到钉高数据和拉形轨迹,其中,根据钉高数据调节多点模具的钉柱高度,得到具有优化模具型面的多点模具外形;根据

拉形轨迹,可由拉形机运动仿真系统得到数控代码。通过数控代码控制 FET600 型数控拉形机,使其夹钳钳口按照设计的拉形轨迹进行运动,使板料在多点模具上完成拉形。最后将成形结束后的零件进行粗切边、数字化测量及分析,如果零件合格,则进行数控切边得到最终的零件,其中数控拉形过程及生成的零件毛坯和数字化测量,如图 6 所示。根据结果分析可以看出,该零件成形的几何误差基本在 $\pm 0.5\text{mm}$ 范围之内,达到了精度方面的要求。

结束语

本文基于自主研发的多点模具,讨论了飞机蒙皮多点拉形技术的制造应用体系及关键技术,并以实际的蒙皮零件为例,对该制造应用体系的实用性进行说明,最终由该系统提供的数据进行实际的蒙皮拉形,得到了合格的蒙皮零件。本文的研究可为蒙皮零件多点拉形的实际生产提供参考和依据,并将推进我国飞机蒙皮的数字化制造水平,为飞机制造业的发展提供技术支持。

本刊共有参考文献 8 篇,因篇幅所限未能一一列出,如有需要请向本刊编辑部索取。

(责编 夏宛)