

飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术

宋东峰

沈阳天贺新材料开发有限公司 辽宁沈阳 110179

摘要: 随着飞行器行业消费市场的升级和飞行器消费终端市场的多元化, 新机型层出不穷, 款式新颖时尚, 生命力无限, 个性化强。终端产品给了消费者更多的选择。飞行器产业链中的制造设备也在不断更新和迭代, 飞行器可以通过制造设备的优化、改进和升级, 迅速形成强大的制造力量和响应能力, 以满足新一代的市场需求。在此基础上, 简要分析了飞行器大型薄壁零件制造中的柔性工装技术。

关键词: 飞行器; 大型薄壁件制造; 柔性工装; 技术

Flexible tooling technology for manufacturing large thin-walled parts of aircraft

Dongfeng Song

Shenyang Tianhe New Material Development Co., LTD. Shenyang 110179, Liaoning Province, China

Abstract: With the upgrading of the aircraft industry consumer market and the diversification of the aircraft consumer terminal market, new models emerge in endlessly, fashionable style, infinite vitality, personalized strong. End products give consumers more choices. Manufacturing equipment in the aircraft industry chain is also constantly updated and iterative, aircraft can quickly form a strong manufacturing force and response ability through the optimization, improvement and upgrade of manufacturing equipment, to meet the new generation of market demand. On this basis, the flexible tooling technology in manufacturing large thin-wall parts of aircraft is briefly analyzed.

Keywords: Aircraft; Large thin-walled parts manufacturing; Flexible tooling; technology

引言:

薄壁零件刚度差, 加工过程中容易变形, 导致两种情况不符合设计要求: 一是变形严重, 零件加工后几何尺寸和高精度技术条件不符合设计图纸要求; 二是零件加工、检验、入库后, 零件自然老化, 残余应力完全释放, 零件局部塑性变形, 高精度尺寸和技术条件超过装配要求, 但无法在实际装配中装配。薄壁零件因其重量轻、刚度不足导致夹紧稳定性差、易产生振动、加工质量难以控制。目前, 针对薄壁零件加工中的装夹问题, 主要采用镜像支撑装夹、真空吸附装夹等工艺方法。在薄壁工件的加工中, 材料去除率往往很大。由于刚度不足, 容易引起变形和振动, 导致表面粗糙度差。

1 薄壁件制造的柔性工装技术的重要性

与一般机械产品的制造不同, 飞行器制造具有结构尺寸大、零件复杂多样、气动外形严格、精度高等特点^[1]。为了保证装配质量, 必须使用大量的工装。大型飞行器零件的加工通常需要特殊的支撑工具, 尤其是机翼蒙

皮和桁架等大型零件。传统的部件支撑工具是根据每个部件的形状特征为其制造的专用支撑工具。这种工装通常是刚性结构, 结构复杂, 适应性和灵活性差。国内航空制造业是一个典型的小批量、多品种的制造业, 面临着各类飞行器的发展和大规模生产。自动化液压技术和柔性工装技术被广泛应用于应对各种制造工艺, 大大提高了飞行器零部件的生产效率。

在薄壁工件的加工中, 材料去除率往往很大。在传统的加工模式下, 零件的夹紧、定位和松开等辅助工作需要花费大量的时间, 特别是对于细长桁架零件, 有效地切割时间较低, 由于刚度不足, 容易引起变形和振动, 导致表面粗糙度差。因此, 一直是机械加工行业的难题。在以往的研究中, 依靠填充材料的方法在实际加工工艺中已变得难以操作。薄壁件作为飞行器的重要结构件, 承载着飞行器的纵向载荷, 广泛应用于机翼、机身等结构中。通常, 挤压型材和异形挤压型材用于制造薄壁结构零件。型材毛坯不能包络零件的形状, 零件不能简单

地通过机加工进行加工。必须与成形结合使用,以便制造的零件的几何形状能够满足设计要求。薄壁零件作为飞行器大型结构件中加工数量最多的零件之一,具有显著的结构特征^[2]。这些零件大多为柔性细长结构(如图1所示),具有以下特点:结构相似,截面尺寸小,壁板厚度小,长度方向尺寸大,夹紧困难,截面形状复杂多变,结构特征和几何尺寸多样,制造工艺尺寸难以保证。这些特点使得薄壁零件成为飞行器各结构件加工的难点。目前,国内飞行器薄壁件的加工方法是早期从苏联引进的。这种加工方法主要承担国内军用和民用机械项目中截面、精度要求低的薄壁零件的生产制造。从设备容量、加工零件精度和表面质量来看,仿形铣削(类似于双轴加工)的加工方法已不能满足当前飞行器薄壁零件的加工要求。

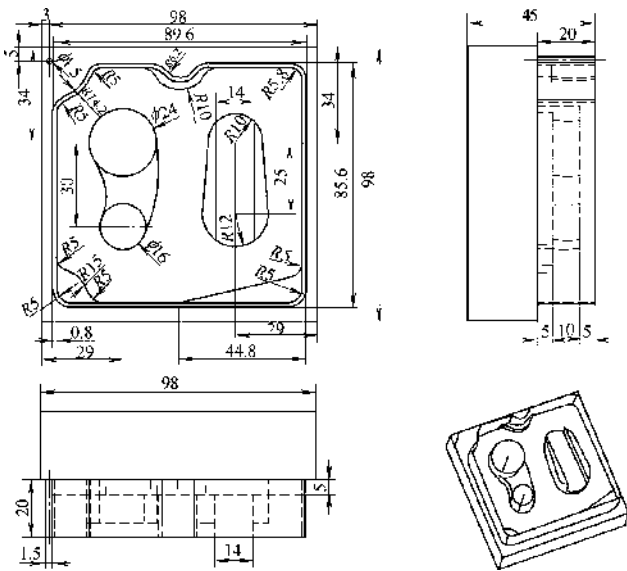


图1 飞行器大型薄壁件结构

2 飞行器大型薄壁件制造中的柔性工装技术应用现状

国内企业缺乏使用专用铣床加工复杂薄壁零件的经验,主要依靠国外提供的加工方案和专用夹具,试切效果不理想。加工表面有阶梯形刀痕,加工表面粗糙度不符合要求。虽然真空吸附夹紧方法的应用已经成熟,但对细长表面的吸附效果较差,夹紧刚度较弱,在冲击载荷瞬时切削作用下会出现明显的刀痕,影响加工质量。采用专用夹具,加工精度容易保证,加工质量稳定性好,针对性强。但是,随着薄壁类型的增加,每增加一个薄壁都需要添加一组专用夹具。通常,每套专用夹具有20多个附件。专用夹具数量大,制造周期长在实际加工中,通常采用压板夹紧。自动化程度低,夹紧力不易保证,夹紧效果一般,工人劳动强度高,夹紧工作繁琐。一个工件一般需要40组左右的压板。因此,设计一种适用于专用铣床的自动夹紧装置,可以大大降低工人的劳动强

度和夹具设计制造的时间,使夹紧效果均匀稳定,减少辅助时间,提高加工效率,降低生产成本。在实际夹紧过程中,支撑跨度较大(约350mm),夹紧缺乏灵活性,因此在精加工阶段很容易发生颤振^[3]。为了避免切削不稳定,通常采用保守的切削参数,即较小的切削深度、切削宽度和进给量,导致切削效率较低。因此,有必要研究跨距的选择原则和夹紧力的选择方法,设计柔性夹紧,以减少夹紧变形,提高工件系统的刚度,减少切削失稳的可能性。

薄壁件的加工主要考虑以下几个方面:①确定加工方法;②充分考虑企业现有设备;③根据薄壁零件的结构、生产程序和精度选择设备。目前,国内外飞行器制造商均采用铣削方法制造结构简单的单曲薄壁零件。薄壁零件的铣削加工包括普通铣削、仿形铣削和数控铣削。从设备容量、加工零件精度和表面质量等方面来看,仿形铣削不能满足高精度薄壁零件的加工要求。仿形铣削和仿形铣削设备故障频发,由于磨损,精度逐渐降低,严重制约了当前的生产,尤其是仿形仪器这一设备的核心,其故障至今无法解决。此外,仿形铣床的生产工艺落后,与移动铣刀接触的零件表面容易产生应变,表面粗糙度 $Ra \geq 6.3 \mu m$ 。产品质量不稳定,普通铣床加工工作量大,周期长。加工件的生产能力、几何精度和表面质量不能满足新开发机型的设计要求。目前,在薄壁零件加工过程中,以消除表面应变和加工残余问题为目标的钳工精加工已成为满足设计要求的最终保证手段,但其效率低,质量难以保证。同样,许多公司被迫购买薄壁零件,以满足高精度项目的装配要求,因为其不具备此类复杂和高精度薄壁零件的制造能力。

3 飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术的优化

3.1 推动数控机床与柔性工装紧密集成

目前,数控机床在某些领域的发展趋势已逐渐由通用化转向专业化。例如,与自动化工装配技术紧密结合的长岩机床就是在这项技术的基础上形成的。机床和工装的集成可以形成一个新的集成加工系统。其意义无异于机床与刀库的集成,形成加工中心,这将给制造设备和制造系统带来新的变化。

典型案例如下:

(1) 机床与刀具之间的信息交换,实现刀具轨迹修正。多点柔性加工中的传感器阵列用于检测工件的应力和热量分布。计算机根据传感信息和数学模型求解工件的变形,然后发出控制信息来修正刀具轨迹,从而提高加工精度。

(2) 机床与工装相互作用,实现工装定位/支撑阵列布局的自动调整,以抑制工件变形。实施方案是将机械手安装在五轴数控机床主轴上,通过计算机控制五自由度机械手,从而完成柔性工艺设备的自动调整,并将定

位/支撑单元阵列的布局调整到最佳状态,以最大限度地减少加工变形。

3.2 促进中小结构件柔性生产线的建立

柔性夹具系统也是一种可以替代传统夹具的新型夹具系统。柔性夹具系统与加工中心和自动化物流系统的紧密集成,可以有效地促进自动化柔性生产线的建立。由于飞行器产品结构的特点,生产线的建立只能应用于中小型飞行器结构件的批量生产^[4]。工作站设计有四个工作站和两个工作站,用于生产大订单车辆。通过车辆批量生产的连续性,降低了开关频率,提高了生产效率。此外,可以根据季度生产计划调整产品生产需求,以减少开关频率,避免设备停机和线路停机,消除时间损失,降低成本。同时,设备更换点少,确保设备故障率稳定,实现精益生产原则。

3.3 大型飞行器曲面薄壁件成形、加工一体化,替代化铣制造技术

目前,大型曲面薄壁件的制造采用了成形与加工分离的工艺方案,这导致了以下问题:由于成形固有的回弹特性,成型生产的半成品零件无法建立后续加工所需的准确基准(即使打定位孔,误差也很大),这使得后续加工难以进行准确定位,导致加工误差较大,影响飞行器整体制造质量。成形加工一体化为解决上述问题提供了新的技术途径。其思想是在同一基准上进行成形和加工操作,以消除基准不重合造成的多个定位误差,有效提高大型薄壁零件的制造质量和效率。长期以来,化学铣削技术在飞行器蒙皮加工中得到了广泛应用。虽然该工艺能较好地解决复杂型腔、凹面、凸台等加工问题,但其固有的缺点,如化学污染、生产周期长、铝消耗量不能回收利用等,一直困扰着航空工业,成为世界性的难题。该行业一直在寻找可以取代化学研磨的新工艺和设备。在当前环境保护和可持续发展要求日益迫切的国际环境下,替代化学研磨,实现蒙皮零件的优质、高效、绿色制造,已成为全球航空业追求的目标。例如,波音公司和空客公司计划在几年内进行消化加工。在我国,取代化学研磨越来越迫切。用绿色制造新技术取代化学研磨技术已成为不可逆转的趋势。面对这一趋势,我国也积极开展替代化学研磨的新工艺技术和新设备技术的研究。这些应用范围广、实用价值高的前沿新技术,对推动我国航空制造技术的发展具有重要的现实意义。

3.4 用于大型薄壁蒙皮件切削加工的柔性工装系统

在利用新工艺技术和新工艺设备解决大型薄壁零件的柔性加工问题上,国内许多单位进行了大量的探索,提出了一些切实可行的方法。特别是一些大学和研究机构已经系统地研究了柔性模具系统,并针对实际生产问题开发了各种应用系统。柔性工装系统与数控加工设备的结合在

国外比较成熟。欧美工业发达国家十分重视通过柔性加工设备技术解决大型薄壁蒙皮零件加工中的变形问题。目前,国外发表的文献大多以常规零件为研究对象,主要在切削力模型、变形分析、误差预测等方面进行理论研究^[5]。其中,柔性工装系统已应用于波音、英国航空航天、CASA、EADS、空客和庞巴迪航空等飞行器制造企业。空中客车公司和其他公司也采用了灵活的工具和加工系统。

3.5 加工残余应力

为了提高效率,采用低速、大进给、大切削深度的方法来去除大量的余量。这样,虽然加工残余应力增加,但可以在精加工过程中修复零件变形。精加工时,采用高速、多次小进给、小切削深度的加工方法,粗加工和半精加工去除大量余量后,增加应力消除工艺,消除粗加工和半精加工产生的残余应力引起的塑性变形。通过对上述一般薄壁零件变形原因的分析,以多功能轴为例,制定了多功能轴变形的具体控制措施,最后给出了多功能轴的加工夹紧方法、加工路线和切削工艺参数。某型发动机的用于将低压汽轮机的扭矩和轴向力传递给风机,是发动机的重要部件。其结构如图2所示。

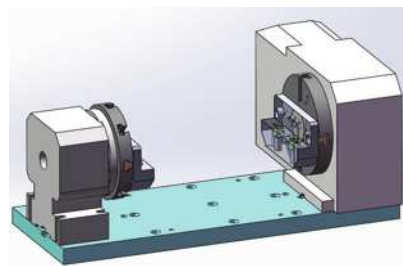


图2 多功能轴三维图

4 结束语

在自动化浪潮的推动下,在新时代的推动下,工业机器人迅速进入了高信息、高智能、高数字化、高柔性的时代,产学研一体化的企业层出不穷。数字化柔性工装技术的深入研究与应用,将有助于突破我国飞行器制造技术的薄弱环节,实现行业的跨越式发展。

参考文献:

- [1]李志楠,高刚毅.飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术[J].内燃机与配件,2020(02):111-112.
- [2]周凯.飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术[J].航空制造技术,2012(03):34-39.
- [3]李栋,张伟林,刘丁荣.飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术[J].现代制造技术与装备,2018(12):183-185.
- [4]何守志.飞行器大型薄壁件制造的柔性工装技术研究[J].南方农机,2019,50(22):249-251.
- [5]陆俊百.飞行器大型薄壁件柔性工艺装备系统研究[D].清华大学,2010.