

薄壁吊舱零件高速切削工艺研究

Process Research of High-Speed Cutting Thin Walled Parts

侯冬梅 / 中航通飞华南公司

摘要: 高速切削具有加工效率高、加工精度高、切削力小、工件的热变形和热膨胀小、经济效益高等优点, 通过对某飞机吊舱零件工艺方法的研究, 实现了该薄壁零件的高速铣削加工, 与传统数控加工方法相比加工效率大幅提高。

关键词: 高速切削; 薄壁零件; 加工精度

Keywords: high-speed cutting; thin walled parts; machining accuracy

0 引言

为满足结构轻、寿命长、超声速、高信息感知能力等要求, 现代飞机在设计上大量采用了新技术、新结构和新材料。航空结构件日益向着结构复杂化、尺寸大型化、制造精确化的方向发展。这一发展趋势决定了结构件的工艺特点: 零件精度要求高; 结构复杂, 加工难度大; 切削加工量大; 薄壁, 易变形。其中, 薄壁整体结构件高精度、高效率和高可靠性的切削加工一直是航空制造业面临的重要课题。

与常规的机械切削相比, 高速切削具有加工效率高、材料去除率高、加工精度高、切削力小、切削温度低、环境污染小等优点, 高速加工还可优化加工流程, 有利于实现精密加工, 有利于保证薄壁零件的形位公差, 并可获得更高的经济效益。

高速切削加工技术具有不同于传统切削加工技术的加工机理和应用优势, 必须考虑的关键技术包括高性能控制系统、机床设计制造技术、高性能刀夹系统、高性能刀具材料、高效精度测试技术、高速切削加工工艺等。

本文针对某飞机吊舱零件普通数控加工中出现的加工变形问题, 引入三坐标数控机床高速铣削技术, 通过对该零件的结构、变形控制、工艺设计、刀具规划等方面的分析, 完成了吊舱零件的总体工艺规划方案、装夹定位方式设计及详细工艺规划设计等。

1 吊舱零件结构简介

某型飞机吊舱零件毛坯为铝合金预拉伸板料, 材质为7050-T351, 尺寸为800cm × 570cm × 85cm, 截面为少半圆形状, 所有壁厚尺寸均为 3.5 ± 0.1 mm, 且存在两处高35mm、长780mm、壁厚3.5mm的立筋, 零件外形为曲面, 外表面曲面尺寸为R182.5mm, 内表面尺寸为R78.5mm,

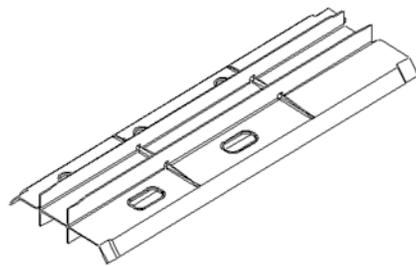


图1 吊舱零件结构简图

是典型的大型薄壁铝合金弧面结构件, 非常适合应用数控高速铣削技术进行加工。零件结构简图如图1所示, 图2为该零件的截面图。

2 工艺研究总体规划

该吊舱零件加工余量大、底面面积大, 装夹困难且加工易产生变形, 需要进行正反两面的加工, 加工工艺设计是该零件高速铣削加工的难点。

由于高速加工时机床设备、切削刀具的正常工作状态与普通加工有很大差异, 因此在编写数控加工程序和工艺流程时确定合理的工艺过程非常重要。根据吊舱零件的加工技术难点、普通数控加工中出现的问题及高速加工的研究成果, 加工工艺应主要从工艺研究总体规划、工艺流程设计、数控编程等几个方面来进行研究。

吊舱零件加工精度较高, 因而采用先进行正面初加工、半精加工, 翻面进行反面的初加工、半精加工和精加工, 再翻面进行正面的精加工的加工方案。从工艺安排角度来说, 整个工艺过程需要进行两次毛坯/零件的翻面,

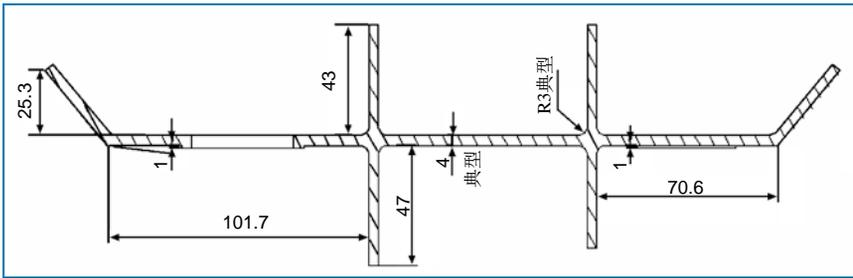


图2 吊舱零件截面简图

由此会造成一些设备资源的浪费,但却能大大加快加工过程,并促进了材料本身的应力释放,能够较好地控制和消除加工产生的零件变形,从而保证零件的加工质量。

3 工艺流程设计

高速铣削工艺设计的原则是,对粗加工、半精加工和精加工进行整体考虑,设计合理的加工方案,从总体上达到高效率和高质量的要求,充分发挥高速切削的优势。吊舱零件普通数铣工艺流程是在粗加工和精加工数铣工序中间安排一次热处理,以消除粗加工残余应力和加工变形,粗加工结束后各部位均匀留出量 $2\sim 3\text{mm}$ 的加工余量。而高速铣削加工应用于薄壁零件具有产生的变形小的优点,完全可以取消稳定化处理工序,因此,上述零件的高速加工工艺设计如下。

1) 铣削正反两平面以及基准边、基准孔。正反两平面作为正反两面加工的Z方向基准平面;基准边、基准孔作为翻面后数控加工找正的基准。

2) 正面粗加工、半精加工。

3) 对正面去除材料部分进行填充,铣平及翻面,按基准边、基准孔对反面找正。

4) 反面粗加工、半精加工。正反两面粗加工均采用大切深、大吃刀量的方法,提高材料的去除率,半精加工采用均匀预留 $0.5\sim 0.7\text{mm}$ 精加工余量的方

法进行。

5) 反面精加工。反面精加工采用小切削、快进给、高转速的方法,刀具每齿的吃刀量一般为 $0.01\sim 0.02\text{mm}$,刀具的进给量一般为 $2500\text{mm}/\text{min}$ 以上,主轴转速一般为 $10000\text{r}/\text{min}$ 以上。采用以上方法可降低由于切削力、切削热等导致的零件变形。同时,在精加工中还应考虑对称加工、转角降速加工、预留工艺凸台等方法。

6) 去除正面填充物,对反面去除材料部分进行填充,铣平及翻面,按基准边、基准孔对正面找正。

7) 正面精加工,方法与反面精加工方法相同。

针对吊舱零件结构和加工特点,应尽量保持设计基准、工艺基准和加工基准统一,在减小零件加工变形量的原则下,寻求适合该零件的装夹定位方案。考虑到储翼槽、内腔等部位需多次进行装夹,选择正反两面均有加强凸台的一侧作为部件对称平面方向的定位基准,而在航向方向利用零件背面精加工后的宽度为 20mm 的凸条作为定位基准。

4 数控编程

高速加工要求保持恒定的切削载荷和稳定的进给运动,避免进刀方向和加速度突然变化,其工艺特性导致高速加工编程的方法与常规加工编程方法有较大差异。高速加工数控编程时考虑的要点主要有:金属去除量均匀;刀具平滑

切入工件;刀具轨迹平滑过渡,在尖角处创建平滑的走刀轨迹;采用分层切削,顺铣加工;减少刀具切入次数;采用较大进给量等。下面主要从程序设计基本思路、刀具选择、切削参数选择等几个方面对高速加工数控编程进行说明。

4.1 程序设计基本思路

1) 采用合适、专用的高速铣削编程软件

目前,数控高速铣削的编程应用软件主要有UG、CATIA、3D-MAX等,该零件的编程基于CATIA软件来完成,最新的V5R11版的数控编程模块增加了高速加工编程的功能。

2) 采用分层、对称方式的铣削策略

对一定尺寸厚度的材料进行多次分层铣削,而不是一次性完成该尺寸厚度的切削,避免了由于吃刀量和切削力过大而产生过多的切削热,从而导致零件变形、刀具损伤等。

对称方式铣削策略是在零件结构的两侧,左右交错、对称地均匀去除材料,使零件结构两侧所受的切削力、产生的切削热等基本相当,以尽量消除对零件的影响。

3) 减少铣削负荷的变化,控制切削量尽量均匀,在加工的转角区域、切削量大的区域,程序编制时采用转角降速、规定刀具每齿切削厚度或单位时间内的切削量保持恒定等策略来实现整个加工过程的平稳,减少由于切削力突变对零件加工质量造成的影响。

图3所示为转角降速示意图,阴影部分为高速铣削刀具的截面图,其中的数值为高速铣削加工的进给速度。可以看出,直线部分的进给速度为 $2000\text{mm}/\text{min}$,转角位置的进给速度逐步降低为 1500 、 1200 、 $800\text{mm}/\text{min}$,到直线部分再次提高到 $2000\text{mm}/\text{min}$ 。在转角位置降低进给速度,是为了使刀具每齿的切削

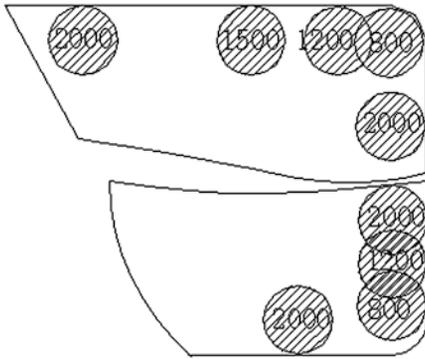


图3 转角降速示意图

量、切削力等尽可能保持一致,避免刀具由于载荷突变而受损、切削热突变对零件产生影响等。

4) 在高速铣削加工的程序设计中,通常采用顺铣方式。

5) 刀具下刀和抬刀的方向采用切线方向。通常情况,高速铣削刀具下刀可采用连续的螺旋、圆弧轨迹和斜下刀等方式,同时进行合理的进给降速设置;高速铣削刀具抬刀,通常可采用连续的螺旋和圆弧轨迹的快速方式。

6) 利用专用的数控仿真软件VERICUT进行数控程序的仿真验证,验证刀位数据的正确性、刀具各部位是否与零件发生干涉、刀具与夹具附件是否发生碰撞等,以确保产品质量和操作安全。

4.2 刀具选用

铝合金材料的切削加工对刀具并没有严格的要求,但是考虑到薄壁结构零件的结构特点和工艺特点,刀具的选择至关重要。通过切削试验结果及理论分析,整体刀具的齿数过多会增加切削力和排屑难度,齿数太少则会影响切削的稳定性。为保证主轴刀具系统偏心量尽量小,铣刀质量应沿整个圆周方向对称,故应选偶数齿(2、4齿)铣刀,所以精加工底面选择直径为16mm的立铣刀,2齿可较好地控制腹板变形。此外,螺旋角过大会增加轴向力,导致腹板加

工变形;而螺旋角过小则会增加排屑难度。从减小切削力的角度考虑,宜选用前、后角大的刀具,一般螺旋角应在 $300^{\circ}\sim 450^{\circ}$ 之间,粗加工螺旋角可适当大一些,精加工选较小螺旋角。

4.3 切削参数的选择

1) 粗加工程序设计

粗加工的目标是追求单位时间的最大材料切除量,表面质量和轮廓精度要求不高。为了防止切削时速度矢量方向的突然改变,在刀轨拐角处需要增加圆弧过渡,避免出现尖锐拐角。所有下刀、退刀、步距和非切削运动的过渡也应尽可能圆滑,加工方式以顺铣为主,选用硬质合金大直径刀具,刀具直径一般为50mm以上。结合该零件,粗加工采用直径为50mm立铣刀,切削参数为: $a_p=15\sim 20\text{mm}$, $a_e=25\sim 35\text{mm}$, $f_z=0.5\text{mm/z}$, $F=2800\text{mm/min}$, $S=12000\text{r/min}$,各周边均匀留量3mm以保证精加工的加工刚性,刀具以螺旋或倾斜方式切入工件,采用环切法,走刀方式由内向外。

2) 半精加工程序设计

选用硬质合金刀具/镶嵌式刀具。结合该零件,半精加工采用直径为16mm的硬质合金刀具,切削参数为: $a_p=2\sim 3\text{mm}$, $a_e=2\sim 2.5\text{mm}$, $f_z=0.2\text{mm/z}$, $F=2000\sim 3000\text{mm/min}$, $S=12000\sim 15000\text{r/min}$,各周边均匀留量0.5mm以保证精加工的修型量。

3) 精加工程序设计

精加工的目的是要获得较好的表面质量和轮廓精度。精加工的刀位轨迹紧贴零件表面,要求平稳、圆滑,没有剧烈的方向改变。所以精加工编程主要对加工效率和加工质量进行综合考虑,采用顺铣的加工方式,选用镶嵌式刀具。结合该零件,精加工选择直径为16R3、10R3、6R3立铣刀,2齿;切削参数为: $a_p=0.1\sim 0.2\text{mm}$, $a_e=0.3\sim 0.5\text{mm}$,

$f_z=0.05\sim 0.1\text{mm/z}$, $F=3000\sim 5000\text{mm/min}$, $S=15000\sim 20000\text{r/min}$,对零件进行修型。

5 结束语

采用高速切削加工技术,使吊舱零件的切削加工效率提高了42%左右,同时提高了加工质量,减少了零件的加工变形。高速切削加工技术的研究为大型复杂薄壁零件的加工提供了有效的方法和途径,具有较好的推广应用价值。

AST

参考文献

- [1] 李国柱. 机械设计与理论[M]. 北京:科学出版社,2003.
- [2] 陈立德. 机械设计基础[M]. 北京:高等教育出版社,2004.
- [3] 顾崇銜. 机械制造工艺学[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1999.
- [4] 徐圣群. 简明机械加工工艺手册[M]. 上海:上海科学技术出版社,1991.
- [5] 黄光叶. 机械制造工程实践[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,2001.
- [6] 何兴银. 航空工程手册:机械类[M]. 北京:航空工业出版社,1994.
- [7] 中国机械工程学会主编. 中国机械设计大典:(3)机械零部件设计[M]. 南昌:江西科学技术出版社,2002.
- [8] CATIA编程指南及说明[M]. 香港:香港精品出版社,1996.
- [9] VERICUT应用指南[M]. 香港:香港精品出版社,1998.

作者简介

侯冬梅,工程师,长期从事飞机部件装配工艺技术工作,目前负责某新研飞机的检验技术工作。