

飞机扰流板接头数控加工工艺

西安飞机国际航空制造股份有限公司 35 厂 (陕西 710089) 温 丰

随着现代航空制造技术的发展,现代飞机设计中大多采用整体结构件,零件设计向整体化、复杂化方向发展,从而提高了飞机整体结构强度,简化了装配环节,更有利于数字化协调与传递。但给数控加工提出了新的挑战,由于整体结构接头大多带有理论内外形、几何形状复杂、空间协调尺寸多,所以有必要对数控加工工艺进行改进,提出解决问题的方法和途径。

1. 零件结构的特点及技术难点分析

(1) 零件结构特点分析 由于扰流板接头本体在设计上采用整体双曲面结构,将壁板、肋、接头融为一体,内、外形带有双曲面理论外形,零件材料 7075-T7451,最大腔深尺寸 148.5mm,槽腔狭窄处尺寸 8.9mm,转接半径 $R8.5 \sim R10.5\text{mm}$ (太小),壁厚 2.5~3mm (腹板厚度较薄),腹板端头无支撑,从图 1 得出,此零件具有多角度、多面体、几何形状复杂。它是典型的整体结构件,零件的工艺性、刚性较差,加工变形大,空间尺寸多,加工精度要求高,工艺难度大。



图 1

(2) 零件技术难点分析 ①加工变形难以控制。因零件结构和尺寸各不相同,材料去除量大,数控加工前毛坯尺寸 $550\text{mm} \times 360\text{mm} \times 137\text{mm}$,重量为 73.2kg,最终零件重量 5.1kg。加工去除量 68.1kg,去除量占 93%,结构变形较大;再因几何形状差异,使零件产生“鸭子嘴”和“麻花”变形,变形控制难。②定位和装夹困难。零件表面上大多是理论曲

面,仅有的耳片,端面小,孔距短,无法定位和装夹。③工艺性差,成形难。零件超深、狭窄、薄壁、凹腔转接半径过小,使用的刀具过长,加工时,啃刀、让刀、带刀以及接刀差现象较为严重,直接影响产品的成形。④刀具颤动量较大。薄壁的内、外形是由双曲面理论外形构成,每处截面上都存在着开、闭面,并且各截面上各点的角度都是变化的,如图 2 所示 (选取某一点进行角度测量,实际内形面上存在着 n 个角度);再由于刀具回转半径小、长径比大,刀具强度降低,加工时很容易颤动和干涉,直接影响零件加工质量。⑤壁厚尺寸控制难。零件缘条和腹板壁厚尺寸公差 $^{+0.10}_{-0.30}\text{mm}$ 。对于壁薄、腔深、小转角、窄槽等都是难加工区域。

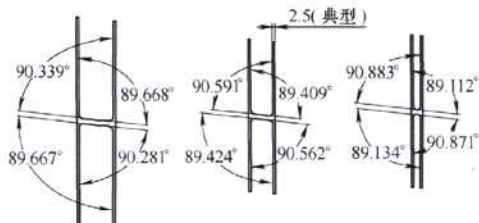


图 2 扰流板操纵接头三处截面角度

总之,此零件结构复杂,工艺及编程具有一定难度,下面围绕技术难点进行叙述。

2. 数控加工工艺方案的确定

针对零件技术难点特点,在零件三维实体模型上建造定位、找正及装夹基准面,采取工艺凸台连接方法,并在工艺凸台转接处设置 $\phi 20\text{H7}$ 工艺孔,如图 3 所示,使用五坐标机床一次性将零件内腔和外形加工成形。考虑到零件薄壁,材料为 7050-T7451,数控加工过程按“粗加工→自然时效→精加工”原则来进行。粗加工尽可能去除所有不必要的余量,有效控制变形,利用这种方法大大减缓弯曲、翘曲变形。因零件耳片上精度孔 $\phi 22.5\text{H8}$ 与零件理

论外形面有形位要求,若使用专用工装确定耳片孔,不仅工装设计非常复杂,而且精度难以保证,故在工艺凸台两侧加工出耳片引导孔(具体位置见图3),这样,既方便找正与装夹,又便于数控加工,定位准确,减少了工装使用,工艺凸台设计为控制零件变形起到决定作用,保证了数控加工顺利进行。



图3 抗流板操纵接头工艺凸台

此加工方法精度比较高,能满足产品图样要求。综上所述,确定该零件的工艺流程为:毛坯检验→粗铣毛坯→数控铣基准孔→数控粗铣内外形正面→数控粗铣内外形反面→自然时效→数控精铣基准面→数控精铣基准孔→数控精铣内外形正面→数控精铣内外形反面→钳工锉修→计量形面及空间点→镗、铰孔→钳工锉修→钳工卸料→检验。

3. 数控加工方法的确定

(1) 数控机床的选择 根据零件结构特点,基于企业现状,结合现有条件,采用五坐标数控机床加工。为了确保零件的加工质量,提高产品的合格率,通过加工试切,检测工艺流程、基准选择、加工程序、刀具规格及切削参数,为后续零件批量加工打下基础。

(2) 合理的选择加工工艺路线 由于该零件几何形状为“工”形分布,槽腔内、外均为双曲面理论外形面,合理的选择曲面加工工艺路线是保证加工效率和表面质量的关键,曲面加工的主要加工方法分为端铣加工、侧铣加工和行切加工三种类型。传统五坐标曲面加工是利用行切来完成的,不仅极大的浪费了加工时间,而且表面质量也不好。这里加工方法是把曲面外形看作是一系列的直纹面构成,根据曲面上的剖面曲率大小确定摆角值,采用分段直纹面逼近的方法侧铣加工,再通过数控编程控制残余高度方法,来控制零件表面上的理论外形,其加工效果和加工效率将大幅度提高。如图4所示,加工策略较为合理。

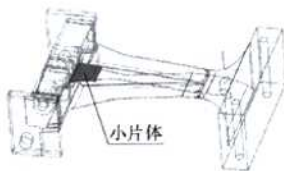
(3) 合理选择编程方法保证加工成形,对三维数模进行局部建造

零件是由深腔、薄壁、狭窄、槽腔内外双曲面理论外形构成,现有数控程序模块满足不了零件实际加工需求。由于零件各个开闭曲面摆角不同,腔底上三面有转接R限制,容刀空间狭窄,在进、退刀时易发生刀具干涉的现象(啃刀、带刀、粘刀、过切),影响零件成形,尤其需要处理好下刀处的啃刀、接刀差问题。对模型二次建造特征片体,然后在进、退刀处生成过渡曲面,有效的改善肯刀、接刀差现象。在程序编制过程中,将槽腔划分若干区域,对每个区域单独处理,经试切检查,避免了啃刀、接刀差,公差控制



图4 数控刀具

加工内腔表面



小片体

图5 三维数模局部建造

制在 $\pm 0.10\text{mm}$ 范围内,保证了零件壁厚尺寸,如图5所示。

加工成形。为了保证曲面表面质量、提高生产效率,将零件腔内中部增设临时工艺肋,壁厚3mm,工艺安排在粗加工前进行,待粗加工后去掉工艺肋。从粗加工结果看:大大减小了零件颤动,变形程度减小到0.8mm内,刀具进给速度提高了两倍以上。实践证明,粗加工留2mm余量较为合适。



临时工艺肋

图6

如图6所示。

(4) 控制零件变形,提高零件表面质量 加工顺序的选择。由图3得知,零件结构差异较大,变形量较大,从上半部分带有耳片铣削量较大处着手,安排粗加工顺序:先去除铣削量大的部位,随后再去除铣削量小的部位,有利于控制变形部位及变形量的大小;对零件采取对称加工的方式,均匀去除腔内侧余量,然后进行自然时效处理,消除粗加工内应力,使零件沿对称线向两侧释放应力,变形均匀。由加工结果可知,零件向上弯曲,变形范围0.8~1.2mm,确定数控粗加工余量2mm,可满足零件变形要求。

深腔精加工时,易超差或报废。零件变形情况与“U”形面凹凸正好相反,变形呈正态分布。根据此类情况,加工过程中始终遵循小余量、小切深、快进给铣削原则,使零件变形量降低;加工时再采用“层优先”的加工策略,零件在加工中分层释放内应力,尤其对深腔、狭窄部位,对刀具采取逐步逼近零件表面方法,留0.5mm半精加工余量,即:事先将程序的每层欲留有一定的余量(在精加工余量基础上再留的余量),待该层内圈部分铣完后,再按余量对外层进行圈铣,去除铣削当中每层引发的变形,从而保证了零件尺寸的形面公差和壁厚公差 $\pm 0.10_{-0.30}^{+0.10}$ mm要求。

如图6所示,加工过程中将工艺肋、工艺凸台、找正及装夹与零件相连部位,待加工完成后,将零件与工艺连接部位分开,较好保证了零件在水平面内的扭曲变形。

(5) 合理选择刀具对深腔、狭窄处采取的数控加工措施 深槽腔曲面加工是复杂整体结构件常见加工难题之一。为了保证加工效率及质量,采用变换刀长的加工策略,按腔深划分若干层,刀长依次递增;刀具类型尽量选用具有良好刚性的加长杆锥形刀具。此外,切削策略尽量采用由内向外环切形式,侧面余量采用阶梯式层优先加工方法,每层切削深度随槽深增加而递减。由于该零件内腔较深,内腔相对窄长,加工时必须选用长径比较大数控刀具,图7数控刀具就是用于内腔加工。例如:刀具 $\phi 25\text{mm} \times 180\text{mm} \times R5\text{mm}$ 、 $\phi 20\text{mm} \times 180\text{mm} \times R5\text{mm}$ 、 $\phi 10\text{mm} \times 180\text{mm} \times R5\text{mm}$ 、 $\phi 8\text{mm} \times 180\text{mm} \times R3\text{mm}$ 、 $\phi 6\text{mm} \times 180\text{mm} \times R3\text{mm}$ 。其中: D 代表刀具切削直径、 F_L 为刃长、 L_1 前端光杆长度、 A 为光杆直径、 L 刀具总长度,由此,设计刀具强度和刚性可以满足加工需要。对于选择小直径的刀具加工时,切削余量不能大,以免产生窝刀、颤刀和过切等现象。编程时必须遵守小余量、小切深、快进给加工原则,通过实践,切削余量控制在0.5~1mm较为合理。

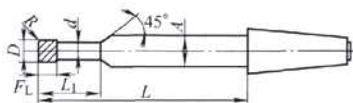


图7 数控刀具

(6) 对深腔转接处选择合理加工方法 由于零

件内腔较深,转接处易出现零件啃伤、过切、窝刀现象。这种现象来源于零件转接处刀具轨迹方向突然改变,接触面加大、瞬间转速和加工余量递增,加剧刀具磨损所造成的。为了避免加工中这种现象发生,常规处理转接处方法有三种:插铣、多级降速和加大转接半径。

实际加工采用加大转接半径和多级降速并用加工方法,例如零件转接半径R10mm处,选择 $\phi 20\text{mm}$ 的刀具,在尺寸公差允许范围内,编程方法:将半径定义R12mm,避开了转接处刀具轨迹突转折R0mm的现象,进、出转接R区时,对刀具速度控制采取逐渐递减和逐渐递增方法,大大改善切削状态,零件转接处不需要补加工就能完全满足HB5800—1999自由公差要求。

(7) 零件翻面数控加工基准确定 由于零件精加工时材料厚度为133mm,翻面对刀、找正对零件尺寸影响较大。如果使用端面对刀零件太厚,位置公差太大;如果使用长杆钻头加工两个 $\phi 20\text{H8}$ 基准孔,垂直度误差较大。为了保证零件精度,采用方法:在精加工前,数控精铣(133 ± 0.05)mm尺寸上、下面,精铣基准边;随后,再以两个 $\phi 20\text{H8}$ 孔和基准边为基准,数控铣、镗 $\phi 25\text{H7}$ 孔,将基准边和孔 $\phi 25\text{H7}$ 作为零件精加工最后基准,如图8所示。这种找正、对刀方法既可以节省专用工装,操作简捷,又可以提高加工效率和精度,此方法误差能保证在 $\pm 0.05\text{mm}$ 以内,满足加工需要。

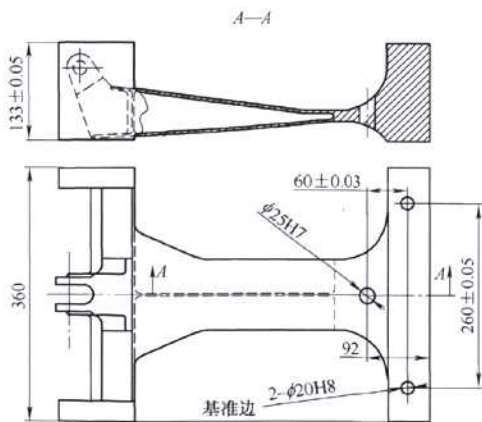


图8 数控加工基准选取

(下转第47页)

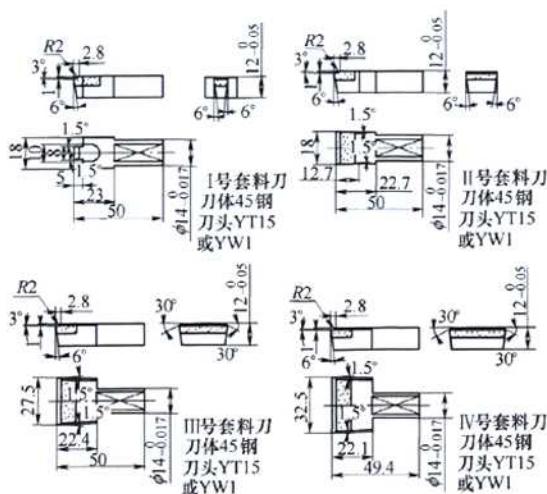


图 2

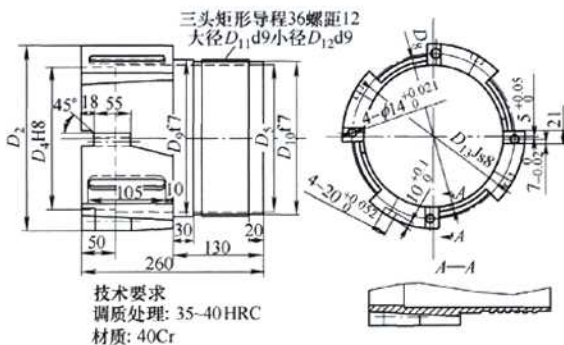


图 3

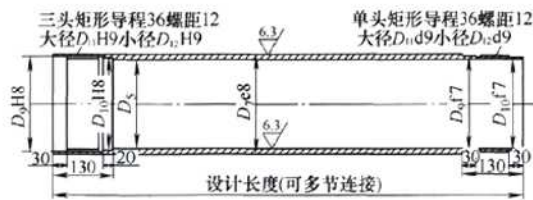


图 4

合金键回转直径 $D_1 = D - 0.5 = 179.5\text{mm}$

刀体外径 $D_2 = D - 2 = 178\text{mm}$

料芯直径 $D_3 = D - 2 \times A = 115\text{mm}$

料芯定位孔径 $D_4 = D_3 + 3 = 118\text{mm}$

刀杆内径 $D_5 = D_3 + 5 = 120\text{mm}$

刀杆内径 $D_6 = D_5 = 120\text{mm}$

刀杆外径 $D_7 = D_6 + 25 = 145\text{mm}$

屑槽大径 $D_8 = D_7 = 145\text{mm}$

大止口径 $D_9 = D_7 - 9.5 = 135.5\text{mm}$

小止口径 $D_{10} = D_7 - 14.5 = 135.5\text{mm}$

螺纹大径 $D_{11} = D_7 - 10 = 135\text{mm}$

螺纹小径 $D_{12} = D_7 - 14 = 131\text{mm}$

刀柄中心距 $D_{13} = 2 \sqrt{Y^2 - 7^2}$

$Y = \sqrt{(D/2)^2 - (14 - B)^2} - A/2$

5. 切削参数、切削液压力

我公司加工材质为 12Cr1MoVG 和 P12 的高压锅炉管时的切削参数见下表:

切削参数表

工件外圆直径 /mm	套孔直径 /mm	主轴转速 /(r · min ⁻¹)	进给速度 /(mm · min ⁻¹)
300 ~ 400	160	80 ~ 100	20
400 ~ 500	205	80	15 ~ 20
500 ~ 600	325	63	15

切削液压力 $P = 3 \sim 13\text{MPa}$, 流量 $q_v = 12 \sim 22\text{L/min}$ 。

6. 加工中注意事项

(1) 图 1 中的合金键在安装到套料刀体上后, 需上工具磨床, 将 4 个合金键所形成的外圆磨至 D_1 , 并保证与套料刀体外圆同心, 以保证 4 个合金键在切削过程中定位正确, 支撑稳定。

(2) 在加工图 3 套料刀体的 4 个 $\phi 14_{-0.017}^{+0.021}\text{mm}$ 定位孔时, 一定要保证孔距尺寸 D_{13} 准确, 孔 $\phi 14_{-0.017}^{+0.021}\text{mm}$ 必须钻铰出, 以保证精度要求。

(3) 在套料加工不同材质的材料时, 要根据具体情况选择转速和进给量, 并合理修磨套料刀的断屑槽, 以保证能正常切削和断屑。MW

(收稿日期: 20110107)

(上接第 38 页)

(8) 根据装配和工程图样要求, 合理进行数控编程。飞机理论外形公差 ($\pm 0.05\text{mm}$), 壁厚 (2.5mm) 尺寸公差 ($\pm 0.05\text{mm}$), 尺寸中值选为 2.325mm , 对零件模型二次建造的片体向内偏置 -0.085mm , 保证公差带分布为中值, 零件编程时就控制了刀具在加工过程中位置尺寸, 避免壁厚超差现象, 保证理论型面和壁厚测量合格。

4. 结语

通过对典型整体结构地面扰流板操纵接头数控加工工艺实施, 我们对异形、薄壁、深腔、狭窄、变形大的零件数控加工策略有所提高, 尤其是对数控加工的关键技术及薄壁控制方面取得了一些经验, 为适应今后大飞机的研制, 我们还需不断学习和实践, 笔者的工艺有欠妥之处尚请明示。MW

(收稿日期: 20101202)