

薄壁型面的数控加工技术

■ 惠阳航空螺旋桨有限责任公司（河北保定 072152） 李国平 郝春鹏

摘要：本文以某型号航空产品的加工零件为例，详细说明了其薄壁型面的数控加工技术。



制造工程部技术主管、
研究员级高级工程师 李国平

在某型号航空产品试制过程中遇到外形、端面、孔及槽的加工零件，其工序简图如图1所示。其材料为LC9（9号超硬铝），热处理状态下硬度 $\geq 120\text{HB}$ ，其实际如图2所示。

1. 工艺分析

（1）工艺结构分析。如图1

所示，该零件属于典型的薄壁件，最小壁厚为6mm，孔 $\phi 8^{+0.04}_{-0.025}\text{mm}$ 对槽 $25.5^{+0.15}_{-0.10}\text{mm}$ 侧面垂直度为0.025mm，到端面距离为 $(145 \pm 0.05)\text{mm}$ ，到中心距离为 $(59.5 \pm 0.1)\text{mm}$ ，到R10mm槽中心距离是 $(19 \pm 0.1)\text{mm}$ ；槽 $25.5^{+0.15}_{-0.10}\text{mm}$ 两侧面平行度为0.01mm。为保证尺寸精度及位置要求，必须以 $(145 \pm 0.05)\text{mm}$ 端面支靠，外圆定位夹紧，端面活动支靠。

（2）加工对象分析。基于零件的特殊结构，必须采用工序一次定位装夹加工，由于加工表面形状差异较大，需要分区加工，对平面部分，采用平头铣刀加工，刀轨的行间距可超过刀具半径，以提高加工效率。对于曲面部分则使用球头刀加工，步间距远小于刀具半径，以保证表面粗糙度及减

少零件变形。对于较宽阔的型腔，如 $25.5^{+0.15}_{-0.10}\text{mm}$ 槽的加工，采用较大的刀具进行加工，以提高加工效率。为有效地控制加工残余高度，针对不同的加工位置采用不同的刀轨形式和步间距。

（3）加工工艺路线规划。根据零件的结构以及定位安装与夹紧的需要来考虑，加工过程要保证定位夹紧时零件的刚性和加工精度，对于在一个方向上加工的表面应一次定位装夹加工完成，对于对称的槽位应采用T形铣刀一次定位装夹加工完成，对于球形刀，夹具可旋转 90° 进行加工。鉴于加工工艺路线规划，采用铣端面→铣外形→零件旋转 180° →铣另一端面、钻镗孔→夹具旋转 90° →重新建立坐标系铣R10mm凸台→零件旋转 180° →铣另一端R10mm凸台→夹具反向旋

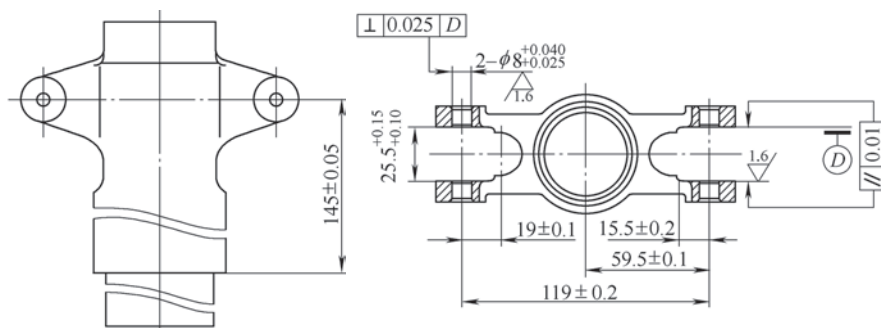


图1 铣槽、外形及镗孔简图

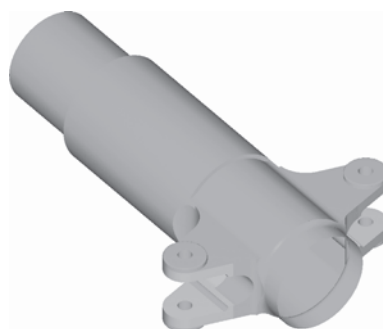


图2 零件实体简图

转90° 铣2个25.5mm槽。

2. 加工工艺

(1) 刀具选择。正确的刀具选择对零件的加工质量和效率的提高有较大的影响, 采用 $\phi 16\text{mm}$ 硬质合金棒铣刀铣外形, 外形加工分粗、精加工(切深2mm); 采用SR10mm镶刀片铣刀(镗夹工装转90°)铣凸台。采用 $\phi 125\text{mm}$ 盘铣刀(白钢刀)铣2个25.5mm槽, X向进刀, 步长3mm。采用镶刀片机夹镗刀钻镗孔。起初, 凸台加工采用 $\phi 135\text{mm} R10\text{mm}$ 盘铣刀(白钢刀), 刀大但吃刀量小, 加工效率低。后采用 $\phi 16\text{mm}$ 硬质合金棒铣刀铣外形, 刀小但吃刀量大, 切深为2mm。

(2) 刀轨形式的选择。切削方式的选择是影响数控加工效率和效果的重要因素, 需要根据加工对象的几何形状特征、刀具特征等进行合理的选择。本零件属于2轴或2.5轴加工, 利用3D模型的边线, 编制2D加工程序, 可以直接参考加工轮廓的Z值作为加工高度限制的依据。钻镗孔加工, 直接以图形上的点定义加工点位置; 切槽加工, 其定义方式由外轮廓组成, 采用简单的二维轮廓线直接进行编程, 即层铣削加工; 外形加工是生成沿轮廓的两轴刀具轨迹, 采取层精铣加工, 即多层次及多圈次的进给。

(3) 误差控制。确定与编程有关的误差环节和误差控制参数, 保证编程精度和实际加工精度。刀轨是由直线和圆弧组成的线段集合近似地取代刀具的理想运动轨迹, 存在着插补计算误差, 其误差控制影响加工不到位

或过切, 在CAM软件上通过设置公差带(即实际刀轨对理想刀轨的偏差)来控制。本零件设置公差带为0.01mm。

(4) 残余高度的控制(见图3)。残余高度的大小决定了加工表面的粗糙度, 残余高度的控制是刀轨行距计算的主要依据, 在利用CAD/CAM软件进行数控编程时, 应在保证残余高度的前提下, 以最大的行间距生成数控刀轨, 以提高数控加工效率。残余高度的确定, 以SR10mm镶刀片球刀(镗夹工装转90°)铣凸台为例进行计算。

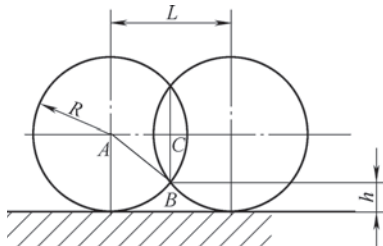


图3 平面上的残余高度

在 $\triangle ABC$ 中, $AB=R$, $BC=R-h$, $AC=L/2$, 则有

$$R^2 = (R-h)^2 + (L/2)^2$$

即

$$h = R - \sqrt{R^2 - (L/2)^2}$$

式中, h 是残余高度(mm); L 是刀轨行距(mm)。

对于本零件, $R=10\text{mm}$, $L=1\text{mm}$, 则计算出 $h=0.013\text{mm}$ 。

(5) 切削工艺控制。切削用量控制、加工余量控制、进退刀控制及冷却液控制等是影响加工精度、表面质量和加工损耗的重要因素。本零件转速采用200~2000r/min, 进给量采用30~1000mm/min, 外形采用粗、精加工。

铣端面(见图4)采用转速1500r/min, 进给量1000mm/min。

铣凸台(见图5)采用转速2000r/min, 进给量1000mm/min。铣槽(见图6)采用转速2000r/min, 进给量1000mm/min。铣外形(见图7)采用转速1500r/min, 进给量1000mm/min, 分粗、精加工。

(6) 安全控制。安全控制即为了避免刀具碰撞零件, 包括程序原点的建立、起始高度、慢速下刀相对距离、抬刀控制及进/退刀控制等。本零件程序原点: X、Z为零件孔中心, 支靠

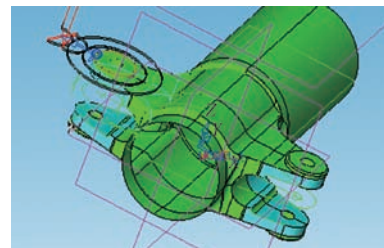


图4 铣端面

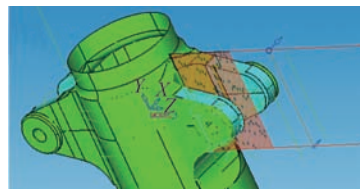


图5 铣凸台

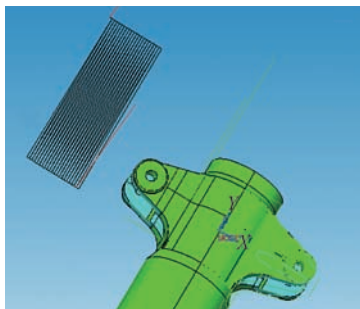


图6 铣槽

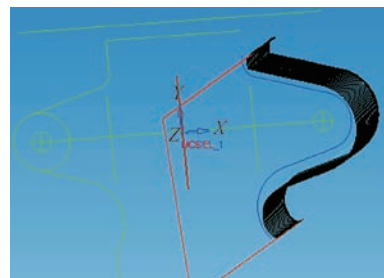


图7 铣外形

面对刀。Y支靠面上返145mm，对刀前找正支靠面Y向直线度0.01mm。

3. 位置精度的保证及检测

2个 $25.5^{+0.15}_{-0.10}$ mm槽相对面的平行度不大于0.01mm，起初加工后经检测不合格，经过对切削用量的调整，仍然不能保证要求，后对其进/退刀方式、加工方式进行调整，由最初的整体刀具吃刀、小进给转化为部分刀具吃刀、大进给，有明显提高，但还是不能保证槽的平行度要求，而后对刀具进行检测，发现T形铣刀的刀杆中心线与盘铣刀端面不垂直，随后对刀具进行返修，保证T形铣刀的刀杆中心线与盘铣刀端面不垂直度不大于0.01mm，配后修

磨，最终保证了零件的位置精度要求。针对零件型面特点，采用三坐标检测。

4. 设备与工装

设备方面主要采用五轴加工中心，一次定位装夹加工，而DMU00机床行程较小，需具体编程后进行模拟仿真方可确定其适用性。夹具方面可利用组合工装进行定位夹紧，满足加工需要。刀具方面由于现有刀具缺少用于精加工及光整所需的高速铣削的铣刀刀杆及刀片，故需采购SECO或特固克相关刀具以满足加工需要。

5. 结语

(1) 根据零件工序要求，选择数控机床、刀具，保证工序尺

寸及技术条件要求。

(2) 外形采用硬质合金立铣刀加工，孔采用钻、镗加工，保证孔尺寸公差及位置公差；槽采用SR10mm硬质合金球刀片机夹铣刀高效加工，尺寸 $25.5^{+0.15}_{-0.10}$ mm，采用R2.5mm成形高速钢铣刀加工保证。

(3) 槽面平行度要求0.01mm，采用常规的上下一次进刀方式无法保证。经过试验，采取步进方式进行加工，满足了技术要求。

(4) 通过一次定位装夹加工，保证了零件尺寸精度及位置精度，集中了工序，降低了生产成本，提高了生产效率。MW

(收稿日期：20150902)



高迈特·中国



智能监测与控制

基于工业4.0的加工过程监控系统能够赋予机床智慧，自主地判断设备、加工过程和刀具是否正常，在发生断刀、撞刀等异常情况时立即控制停机，保证过程安全稳定。同时还能智能调节进给倍率和判断刀具是否磨损，优化加工效率和刀具利用率。通过深入了解设备和加工过程状态，将记录的数据用于过程质量控制和工艺优化，并通过分布式的网络集成管理。

KOMET® BRINKHAUS ToolScope 加工过程监控系统 - 实现更加智能、稳定、高效的生产。

高迈特精密刀具(太仓)有限公司

江苏省苏州市太仓经济开发区苏州路5号 Tel.: +86(0)512 5357 5758 Email: info.cn@kometgroup.com

孔加工 铰削 螺纹加工 铣削 过程监控

TOOLS+IDEAS®

◆广告查询编号: 3055

www.kometgroup.com/brinkhaus