

钛合金薄壁曲面缝隙天线零件加工工艺研究

王建华¹ 王明军² 梁峰¹ 范永庆¹

(1. 北京华航无线电测量研究所, 北京 100013;

2. 北京航星机器制造公司, 北京 100013)



摘要: 通过分析钛合金薄壁曲面缝隙天线零件加工中的关键技术难点, 制定了详细的加工工艺方案, 解决了零件加工中的变形控制和高精度尺寸保证难题, 实现了零件的高效加工。

关键词: 薄壁曲面; 缝隙; 天线

Machining Process Research on the Titanium Radiation Wave-Guide Groove Part

Wang Jianhua¹ Wang Mingjun² Liang Feng¹ Fan Yongqing¹

(1. Beijing Huahang Radio Survey Technical Institute, Beijing 100013;

2. Beijing hangxing machine manufacturing company, Beijing 100013)

Abstract: By analyzing the machining key technical difficulties of the titanium thin-wall curved surface aperture antenna, the detailed machining process is constituted, the problem of the deformation control and the high precision dimension insurance are solved. Finally, the manufacturing of the part is realized with high efficiency.

Key words: Thin-wall curved surface; aperture; antenna

1 引言

钛合金新型天线中的薄壁曲面缝隙零件, 需要满足耐高温、减重等特殊需求, 材料为钛合金 TA15, 结构形式非常复杂, 设计精度要求极高, 需要整块板料整体加工成形。零件主体为 3mm 厚双面圆弧曲面, 长 1270mm, 宽 180mm, 其上附有高精度空间角度双面圆弧曲面、波导腔体和高精度微细波导裂缝群结构, 既要保证波导腔体和裂缝加工精度, 还要保证各薄壁圆弧曲面的加工精度, 加工难度巨大。

2 关键工艺技术问题

零件外形尺寸大、壁薄、形状复杂、厚度差异明显, 双面薄壁圆弧结构加工刚性差也导致加工过程中的振颤明显; 再加上钛合金材料的弹性模量小, 工件在加工中的夹紧变形和受力变形更大, 零件的加工精

度很难保证。对零件进行结构形式优化和合理分段, 并设计工艺加强结构和辅助装夹装置, 在现有设备条件下尽量提高加工工艺性等比较关键。

零件为典型的大尺寸薄壁结构, 又因为钛合金材料的导热系数小, 机械加工时产生的热量很难通过工件或切屑释放; 而且钛合金的比热小, 加工时局部温度上升快, 更容易引起零件热变形。所以, 零件在大量去除材料情况下的切削热和切削力控制、加工精度保证等比较困难。如何选择合理的加工工艺方案和切削参数, 保证零件整体加工精度和波导腔加工精度, 控制加工变形, 成为主要工艺技术问题。

厚 3mm 的薄壁圆弧面上附着的高精度波导腔结构, 尺寸精度 $\pm 0.01\text{mm}$, 粗糙度 $R_a 0.8\mu\text{m}$, 圆角 $R1\text{mm}$, 由于钛合金弹性模量低, 已加工表面容易产生回弹, 特别是薄壁零件的加工回弹更为严重, 加工精度难以保证。

作者简介: 王建华 (1978-), 高工, 机械设计及理论专业; 研究方向: 设计制造一体化。

收稿日期: 2012-10-16

零件为双面圆弧加侧面斜面结构, 加工过程中的装夹定位等比较困难; 而且, 钛合金切削振动大和零件整体刚性差等原因更容易引起装夹变形。设计合理的装夹定位方案等比较关键。

根据薄壁零件材料特点和具体结构特点, 刀具选用成为制约加工质量、加工效率和加工成本的关键技术。通过选择合适的刀具材料、刀具结构形式等, 并应用正确的加工策略, 对提高刀具寿命和保证加工精度等都起到至关重要的作用。

零件上含有多个复杂空间方位的曲面、斜面、型腔等结构, 且加工要素多, 数控编程方案比较关键。

3 具体加工工艺流程

3.1 优化零件结构形式

3.1.1 确定分段形式

零件主体为 3mm 厚双面圆弧曲面, 长 1270mm, 宽 180mm, 材料去除量高达 90%。根据零件结构特点, 确定了长度为二分之一 (635mm) 的分段加工方式, 分段图见图 1, 分段加工后再通过销钉定位并重新焊接的方式进行两段间的连接, 从而有效提高加工工艺性, 控制加工变形, 保证加工精度。



图 1 零件的分段结构示意图

3.1.2 设计工艺加强框

在零件的外周设计工艺加强框, 见图 2。由于零件为薄壁结构, 整体刚性差, 加工时切削振动大, 工件必须装夹牢固, 防止切削时移动; 而过大的夹紧力很容易产生变形, 影响加工精度。通过设计工艺加强框, 可提高整体结构刚性, 减少加工振颤、夹紧变形、受力变形等; 同时满足装夹定位精度需要。工艺加强框可最后采用线切割加工的方式去除。



图 2 具有工艺加强框的零件结构示意图

3.2 确定加工工艺方案

由于零件结构复杂, 尺寸精度高, 尤其波导腔体和波导裂缝的尺寸精度对电气性能影响大, 而且钛合

金属材料在加工中的切削热和切削力控制等更为困难, 所以合理的加工工艺方案和切削参数对保证零件整体加工精度和波导腔加工精度、控制加工变形等至关重要。经过综合分析零件设计要求和加工工艺特点, 制定零件的加工工艺流程如图 3 所示。

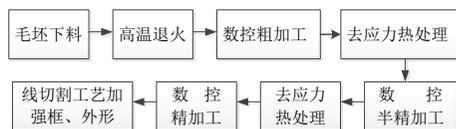


图 3 钛合金薄壁曲面缝隙零件主要加工工艺流程

其中, 第一道高温退火工序主要是为了去除毛坯的内应力, 减少对刀具的磨损; 后两道高温退火热处理工序, 是为了去除零件粗加工和半精加工过程中产生的内应力, 提高加工工艺性, 控制加工变形。

3.3 确定加工刀具

零件采用高速加工, 材料去除量大, 加工过程中产生的高热量和高应力必须得到有效的控制, 否则会引起零件的变形。加工刀具的材料和结构形式等的选择对保证整个零件的加工质量和加工效率等都起到了至关重要的作用。

对零件腔体结构的粗加工, 采用玉米铣刀和镶刀片式铣刀, 刀具的整体刚性更好, 切削加工中的振颤小, 可有效提高切削用量和材料去除率, 增加加工效率, 减少刀具成本, 达到高效加工的目的。

对零件腔体结构的半精加工和精加工, 采用镶刀片式铣刀和密齿铣刀, 有利于保证加工精度和加工质量。对波导腔体圆角结构的半精加工, 采用插铣刀和插铣加工方式, 有效降低加工应力和加工变形, 提高加工效率。

精加工采用排屑特性良好的二刃铣刀。刀具的切削刃长, 在满足切深或槽深要求的前提下, 刀具的光杆部分及整个刀长要尽量短, 与夹套配合的部分直径要大于 3mm, 以保证高速切削加工中, 刀具具有好的刚性, 减少加工过程中的振颤。

3.4 确定数控编程方案

3.4.1 加工模型的构建要求

构建零件的加工模型时, 必须在模型中做出各槽腔的圆角 $R1\text{mm}$ 。同时, 在加工内腔圆角时, 采用刀具半径小于零件内圆角半径的刀具, 在加工圆角处时, 采用圆弧插补代替直线插补, 整个刀轨光滑连续过度, 避免高速下的加工方向突变, 刀具摆动剧烈造成的拐角损伤, 同时保证排屑空间和排屑要求, 避免

刀具夹屑对圆角表面质量的影响。

3.4.2 应用顺铣加工方式

采用顺铣加工方式,使切削厚度由大逐渐减小,切屑不容易粘连在切削刃上,薄屑也容易从刀齿上脱落,从而降低切削热,提高刀具寿命和控制零件变形;采用层优先加工方式,即在同一深度层上顺序加工所有的腔槽,返回安全平面后,再进入下一深度层进行切削,控制加工变形。

3.4.3 应用高效插铣技术

为满足减重和电器指标需求,零件的波导腔体圆角很小,为 $R1\text{mm}$,由于在圆角处存在切削量突变,若采用普通铣刀进行加工,刀具容易产生振动,刀具磨损严重,加工效率不高。插铣的走刀方式为沿刀具轴向方向,径向切削力小,加工过程中的切削振动小,对零件圆角余量的加工效率高,所以使用插铣刀和插铣加工方式可有效解决圆角加工效率问题。在对零件圆角进行插铣半精加工去除大部分余量后,再使用密齿铣刀进行精加工。

3.4.4 零件表面质量保证措施

波导腔体底部,波导腔体侧面和波导腔圆角等结构表面质量要求 $R_a0.8\mu\text{m}$ 。波导腔体底面的表面质量主要决定于加工刀具、最后一层的切深和最后一层的入刀角度。最后一层的切深过大或者入刀角度大于 10° ,底面留下的刀痕会很明显;切深太小或者入刀角度太小当走刀速度很快时,容易引起过多的空刀和机床振动。一般情况下,应设置最后一层切深小于 0.5mm ,入刀角 5° 左右。

3.5 加工过程

3.5.1 粗加工

对零件的毛坯件粗加工,进行压板装夹,采用镶刀片式铣刀、玉米铣刀将毛坯件的上下表面粗加工为同心圆弧结构,并在上表面的圆弧结构上加工波导腔体结构,单面留余量 1mm ,在工艺加强框的两端加工2个 $\Phi6\text{H}7\text{mm}$ 的定位孔,获得粗加工后的零件。

3.5.2 半精加工

使用压板装夹粗加工后的零件,采用镶刀片式铣刀半精加工工艺加强框的上表面和下表面,两面反复

均匀去量,保证平面度在 0.05mm 以内,使其作为零件正反面结构半精加工的工艺基准,并将工艺加强框两端的2个 $\Phi6\text{H}7\text{mm}$ 的定位孔加工为2个 $\Phi7\text{H}7\text{mm}$ 的定位孔;应用插铣加工方式半精加工波导腔体圆角结构,单面留余量 0.5mm ;采用密齿铣刀应用顺铣加工方式对粗加工后零件的上下圆弧表面、波导腔体侧面和底面进行半精加工,单面留余量 0.5mm 。

3.5.3 精加工

使用压板装夹半精加工后的零件,采用镶刀片式铣刀精加工工艺加强框的上表面和下表面,两面反复均匀去量,保证平面度在 0.03mm 以内,使其作为零件正反面结构精加工的工艺基准,并将工艺加强框两端的2个 $\Phi7\text{H}7\text{mm}$ 的定位孔加工为2个 $\Phi8\text{H}7\text{mm}$ 的定位孔;采用密齿铣刀对半精加工后的零件的上下圆弧表面、波导腔体侧面和底面进行精加工,单面不留余量;精铣工艺加强结构的两大面,两面反复均匀去量,保证平面度在 0.05mm 以内,使其作为零件半精加工正反面结构的基准,并将两端2个 $\Phi6\text{H}7\text{mm}$ 加工为2个 $\Phi7\text{H}7\text{mm}$,保证定位孔与基准面的相互位置关系。

3.5.3.1 确定合理的切削参数

为了保证波导腔体侧面和圆角结构的表面质量的一致性,精加工侧壁和圆角必须使用同一把刀具。并确定合理的走刀方式、切深、切宽、转速、进给量等切削参数,减少切削热和切削力,控制零件变形,保证加工精度和尺寸稳定性。

采用“小刀快跑”的加工方式,即采用较小的切深和切宽,较高的转速和切削进给速度,使加工中的切削热被冷却液带走,控制零件变形。

采用层优先的加工原则,即在同一深度层上顺序加工所有的槽腔,在进入下一深度层进行切削。

主轴转速和进给量等切削参数要合理匹配,且每一层的切削深度不超过 10% 刀具直径,刀具的径向进给量(切宽)不大于 40% 刀具直径,既要防止产生加工变形,同时要保证高的切削效率。主要的高速切削参数如表1所示。

表1 零件精加工主要切削参数表

刀具	加工方式	入刀方式	主轴转速/ $r\text{ min}^{-1}$	进给速度/ mm m^{-1}	切宽/ mm	切深/ mm
$\Phi8$	顺铣	螺旋 5°	8000	500	40%刀径	0.5
$\Phi4$	顺铣	螺旋 5°	10000	800	40%刀径	0.5
$\Phi1.8$	顺铣	螺旋 5°	12000	1000	40%刀径	0.3

