

右侧壁腹板加工方案

赵军, 李思君

中航工业沈飞(集团)有限公司数控加工厂 辽宁沈阳 110034

摘要: 针对某项目关键零部件右侧壁腹板结构进行分析讨论, 结合钛合金材料性能, 选择合理的刀具、加工方法和有效的切削参数, 制定出一套完整的加工工艺流程, 并形成一套可用于加工类似零件的数字化加工方案。

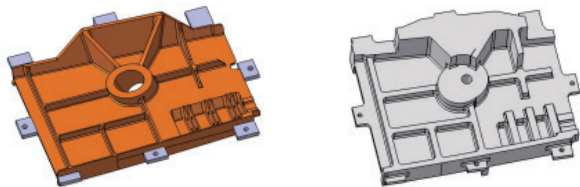
关键词: 右侧壁腹板; 钛合金; 数字化加工; 切削加工

1 序言

右侧壁腹板为侧壁主要连接件及承力件之一, 具有尺寸大、大角度开闭角数量多、高度跨度大、变角度内形面形状复杂及模锻件来料存在余量严重不均匀的特点。如何采用分步分层铣削、浅切、定摆角行切及变角度加工等多种加工技巧相结合的方式来实现变形小、效率高的加工是本文探讨的重点。

2 零件介绍

右侧壁腹板是弹舱侧壁主要连接腹板之一, 形状复杂、变角度双曲面多且高度跨度较大, 存在一定的加工难度。零件为钛合金模锻件, 外廓尺寸为 $690\text{mm} \times 500\text{mm} \times 185\text{mm}$, 如图1所示。



a) 右侧壁腹板正面

b) 右侧壁腹板反面

图1 右侧壁腹板

3 问题分析

根据材料性能、零件工艺结构及来料状态, 分析加工过程中存在的问题, 制定合理的解决措施, 从而保证该零件能优质高效的加工。

3.1 材料性能

该零件材料为典型 α 相钛合金, 强度较钢类高, 金属熔点高, 可耐 550°C 高温, 低温韧性好。此外, 钛合金还具有较好的抗腐蚀性, 材料表面在中低温环境下会形成致密氧化膜, 防止进一步氧化, 对空气、水和一般酸、碱都有抗腐蚀能力。由于材料的独特性能, 所以在加工过程中, 还存在着一些加工难点。

(1) 导热性差 高速加工过程中切削热无法快速传递, 表面容易形成氧化膜, 导致刀具受热磨损, 且机械磨损成倍增加、寿命降低。

(2) 强度大、塑性差 刀具前刀面在加工过程中受力过大, 容易崩刃。

(3) 弹性模量低, 变形大 加工后回弹较严重, 后刀面与材料接触面积增加, 加快刀具磨损。

(4) 材料活性大 受热刀具易发生化学反应, 产生黏刀现象, 损坏刀具和零件。

综上所述, 在钛合金的加工过程中, 应使用小前角、大后角的刀具, 刀具材料多为硬质合金, 切削量应相对较小, 从而减少切削热量的产生。

3.2 工艺结构

零件外廓尺寸为 $690\text{mm} \times 500\text{mm} \times 185\text{mm}$, 高度方向尺寸较大; 腹板厚度为 6.5mm , 筋条厚度为 3mm 、 4mm 、 6mm 和 12.5mm 等多种类型, 外形处闭角为 35° 。加工零件两面需要两立铣加工和一卧铣加工, 来保证内外两面全部加工到位。中间圆形轮

廓外形多为变角度双曲面,需要定摆角、动摆角、垂直底面定轴等多种编程方法相结合进行加工。整个零件缘筋高度跨度从22mm到100mm,内形宽度跨度从11mm到100mm,合理选择刀具、安排工序步骤为效率和表面质量的重要手段。

3.3 来料状态

来料类型为模锻件,腹板单边3mm余量,垂直缘筋条单边8mm余量,中间大圆与大闭角处外形余量不均情况较为严重,金属去除率70%,切削工作量相对较大。

3.4 加工过程中的问题

①零件来料无法装夹,需来料带工艺凸台并修整基准平面。②大闭角处内外立铣无法加工到位,需配合卧铣工位加工,保证尺寸合格。③中间大圆均为变角度双曲面,需要通过变角度铣削、定摆角行切等共同保障。④零件结构复杂,共需6个工位进行加工,合理合并工序值得研究。⑤零件有6组 $2 \times \phi 10C9$ 装配孔需要钻制,孔轴线位于腹板面以下,加工方法需要考虑。⑥中间装配轴承处大孔与四周螺纹孔孔位关系需要特殊注意,保证装配的合理性。

4 制定加工方案

零件从来料模锻件到成品,需要经历反面基准加工→正面粗加工→反面粗加工及精加工→正面精加工→反面卧式加工→常规镗加工等多个工序。工序的合理安排及每一道工序的加工质量都会影响到整个零件的产品质量,合理选择每个工步的加工刀具、装夹定位方式、预留余量及加工方式等都会影响产品质量和加工效率。因此,主要从下述四方面进行分析研究。

4.1 加工刀具

分析零件尺寸,高度方向和槽宽度方向跨度较大,合理选择多种直径和刀长、下刀深的刀具能够有效地提高加工效率。此外,加工深槽用长刀、加工浅槽用短刀可以有效避免让刀,尺寸精度容易保证。粗铣用大直径刀、精铣用小直径刀,可以提高加工表面质量,精铣小刀提速可以减少表面加工刀棱,获得较好的表面粗糙度。该零件主要采用了 $\phi 40$ mm长刀、 $\phi 40$ mm短刀、 $\phi 20$ mm长刀、 $\phi 20$ mm短刀、 $\phi 16$ mm长刀、 $\phi 16$ mm短刀及

$\phi 12$ mm、 $\phi 10$ mm等带有不同底半径的多种刀具,在能够加工出合格零件的基础上提高加工效率和表面质量。

4.2 装夹定位

针对零件轮廓尺寸较大、关键特性尺寸精度要求较高、加工工序数量多等特点,采用两孔定位可以有效提高加工准确度、减少多次翻面造成的定位误差。采用腹板定位需多次修基准、倒压板、定制凸台,加工效率低、成本较高,采用缘条定位,缘条阶差大、定位准确性差、特制压板及垫块多且加工过程中需多次倒压板,也存在加工效率低和成本高的缺点。相对而言,采用工艺凸台定位较为合适,只需特制一组垫块即可,基准各修一次即可保证多次翻面误差减小;另外,采用凸台定位,各工位加工均不受干扰,无需工人来回调整压板位置,可有效提高工作效率。该零件采用了8个凸台均布定位方式,其中两个带有一组定位孔,满足了加工需求,提高了加工效率和质量,同时降低了生产成本。

4.3 预留余量

加工过程中存在较多的变角度加工、大角度闭角加工,为保证多工位加工中余量充足,采用粗加工单边余量2mm,半精加工余量0.5mm,最后精加工到位的预留余量方案,把零件因定位误差及冷加工变形误差而导致零件超差的概率降到最低。

4.4 加工方式

该零件总体采用ABBAB的翻面加工方式,通过凸台面和两侧凸台定位孔进行一面两孔定位,多工位定位基准重合、定位误差小,多工位加工、应力释放均匀、冷加工变形小。根据零件存在较多的开闭角及变角度内外形面、双曲面斜筋条等特点,使用高效高功率的五坐标立式铣床和中低功率、高精度五坐标卧式铣床相结合来进行加工。采用以下方式处理多处难加工结构,旨在使尺寸精度、产品表面质量、加工效率及机床利用率等都能达到最优。

1) 来料为模锻件,开闭角处内外形及中间环形圆柱面余量5~50mm不等,采用等高降层加工,结合浅切2mm一层,可使得每次走刀的切削量均匀,有效地提高了加工效率和加工质量,减小了切削力和应力集中,同时降低了刀具的磨损和加工成本。

2) 粗加工采用 $\phi 40$ mm刀具,加工后转角余

量较大。对于余量宽度不超过10mm的转角采用 $\phi 20\text{mm}$ 刀和 $\phi 16\text{mm}$ 刀顺次插铣的方式清理，对于较大余量处采用轴向分层定角度旋转式铣削，保证后续精加工转角余量尽可能小，避免因变角度切削量过大造成刀具折断或者啃伤零件的情况。

3) 如图2所示，外形处存在较大闭角（内形相对即为开角）两侧角度分别为 26° 和 35° ，沿曲面方向高度为100mm，立式铣床A、B角均为 $\pm 30^\circ$ ，加工时正面内外形可粗铣 $\rightarrow$ 半精铣刀 $\rightarrow$ 精铣加工到位，采用贴合型面加工方式，背面内外形采用 29° 定摆角加工，最大限度去除余量，保证后续卧式加工工作量尽可能小。

4) 如图3所示，中间环形圆柱轴线与腹板面成 26° 角，理论上可采用五坐标立式铣床直接加工到位。但加工过程中，圆柱外形面需采用变角度进行摆角加工，存在急速变角度情况，为保证形面表面质量，同时提高加工效率，粗加工使用动摆角径向分层加工，半精加工采用定摆角、动摆角结合单层加工，精加工采用多次定摆角衔接的加工方案。不同加工方式相结合，既保证了加工稳定性、尺寸精度准确性，同时也提高了加工效率、减少了表面由于刀轴变角度所产生的不光滑问题。

5) 如图4所示，三组耳片上的装配孔轴线位于腹板面下方，精度要求 $\phi 10\text{C}9$ ，单组耳片上孔距要求 $50 \pm 0.1\text{mm}$ 。同轴线孔要求尽可能一次加工到位，由于第三组孔距离内形尺寸不足，所以需要两次钻扩铰孔来制作。加工时，利用一套钻模配合多种规格的引导套，先用带有前后引导各50mm长的铰刀加工前两组耳片，再用带有后引导长150mm的铰刀加工第三组耳片，这样既保证了孔的尺寸精度，又通过同一工装、同一工位保证了孔间距和同轴度。



图2 闭角处

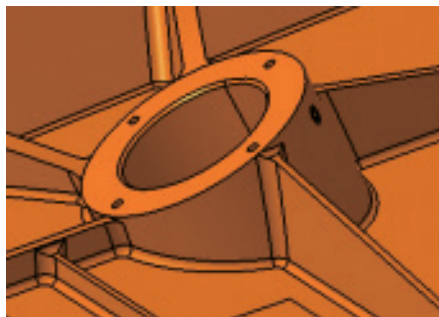


图3 环形圆柱



图4 耳片

5 加工容差分配及测量方式

在机械加工中，由于机床误差、定位误差及操作误差等不可避免的原因，实物零件会与设计零件在尺寸方面有一定的偏差，所以选择合理的偏差范围是保证零件能够满足交付及后续使用的条件之一。

检验测量过程中，除腹板厚度、缘筋条厚度、与腹板平行的缘筋条高度外，其余尺寸均有数字化测量机进行测量，降低了人工测量的难度和工作量，缩短了零件的生产周期。

6 结束语

通过分析钛合金右侧壁腹板零件的特点，制定出一套高效的加工方案，实现了人工干预少、降低工作成本、提高切削效率及改善表面质量的目标，并总结出加工经验和参数选择的方案，为相似零件的加工工艺提供了支持和帮助。

参考文献：

- [1] 陈日曜. 金属切削原理[M]. 2版. 北京：机械工业出版社，2012.
- [2] 张建中. 机械制造工艺学[M]. 北京：北京航空工业出版社，2000：42-125.

MW 20200923