

一种大型铝合金薄壁件高效加工工艺研究

夏振涛, 刘锦

(上海卫星工程研究所, 上海 200240)

摘要:通过对某型号卫星贮箱支架的数控加工实践,研究了大型铝合金框架式薄壁结构件的高效数控加工工艺技术。通过合理选择机械加工规程和工艺参数,解决了这类零件加工过程中极易超差等难题,可靠地满足了型号研制的要求。同时利用 Mastercam X 软件研究了高效数控加工问题。

关键词:铝合金; 框架式薄壁结构; 高效数控加工; Mastercam X

中图分类号: TH162 **文献标识码:** A

文章编号: 1674-6457(2010)01-0080-05

The High Efficient Processing Technology Research of Large-size Aluminum Alloy Thin-wall Workpiece

XIA Zhen-tao, LIU Jin

(Shanghai Institute of Satellite Engineering, Shanghai 200240, China)

Abstract: In this paper, the high efficient CNC machining technology of the large-size thin-wall aluminum alloy frame structural parts has been studied by the CNC machining practices of the tank frame of a type of satellite. By reasonably selecting the machining regulations and process parameters, the over-proof problems of such parts are solved easily, and the requirements of the development of the model are met reliably. At the same time the high efficient CNC machining problem is studied by using the Mastercam X software.

Key words: aluminum alloy; frame-type thin-wall structure; CNC machining; Mastercam X

随着卫星功能的不断增强,卫星结构高精度、大型化已经是卫星研制技术发展的一大趋势。如某气象卫星质量为 2400 kg,其外型尺寸达到 5 m 以上。研究表明,地球同步卫星每降低 1 kg 结构质量,则带来约 40000 美元的经济效益^[1]。为适应节能和环境保护的要求,卫星产品轻量化一直是航天领域追求的目标之一。大型框架式薄壁类零件已经日益广泛的应用于卫星结构中,铝合金大型框架式薄壁类零件的加工工艺已经成为同领域内专家们研究的热点。文中以某型号卫星贮箱支架的加工为研究对象,针对现有设备条件,研究了大型铝合金框架式薄壁结构件的高效加工工艺,实践表明这种加工工艺

方法可行,加工出的零件质量符合设计要求。

1 贮箱支架介绍

1.1 结构形式

某型号卫星贮箱支架属大型框架式薄壁类铝合金零件,结构件分为 $\pm X$ 两块,且两块支架的结构、尺寸完全相同。零件的结构为对称形式,正反两面分布着不同大小的圆弧、凹槽、减轻槽以及位置精度要求较高的通孔、螺纹孔,而且支架侧面也分布着不同尺寸的减轻槽,贮箱支架设计质量约为 22 kg。

收稿日期: 2009-09-28

作者简介: 夏振涛(1982-),男,陕西人,硕士,主要研究方向为切削工艺技术、机电一体化技术。

1.2 贮箱支架主要尺寸及精度要求

贮箱支架总长约 3000 mm, 宽约 1500 mm, 高约 40 mm, 典型壁厚 2 mm。减轻槽多数为穿过槽, 其余均为深约 35 mm 的凹槽, 而凹槽的圆弧半径最小只有 4 mm。支架共有螺纹孔 140 处, $\phi 8$ 通孔 30 余处。零件的上下两平面平面度要求 0.15 mm, 平行度 0.2 mm, 表面粗糙度值 $R_a 3.2$ 。贮箱支架三维模型如图 1 所示。

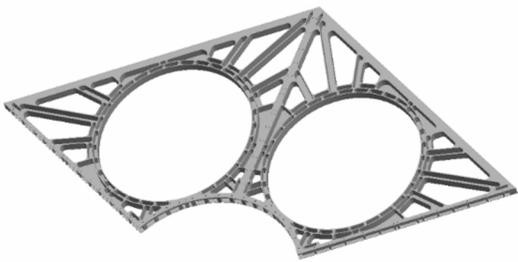


图 1 贮箱支架三维模型

Fig.1 3D model of the tank frame

2 工艺方案

2.1 早期方案实践

该零件早期采用外协加工, 材料为 LD10 预拉伸板, 加工工艺是一次加工到各尺寸。加工历时 3 个月, 最终零件的平面度超差 6 mm, 壁厚从 0.9~3 mm 不等, 表面粗糙度劣于 $R_a 6.3$, 表面铣削划痕较多, 孔位尺寸严重超差, 接近报废状态。

2.2 改进后的工艺方案

针对早期方案的实施结果, 对工艺方案进行了总结。文中主要从毛坯的选择、工艺过程设计、工艺参数等方面进行了研究, 并提出了改进方案。

2.2.1 毛坯和加工设备的选择

毛坯采用牌号为 2A14T651 的铝合金预拉伸板材料, 该种材料具有内应力小、形变小的特点, 毛坯尺寸为 3000 mm \times 1500 mm \times 60 mm。采用了 XK2420G 型 3 轴数控定梁龙门镗铣床进行加工。

2.2.2 工艺过程设计

结合贮箱支架薄而大的特点和较高的精度要求, 拟定加工分为 3 个阶段: 粗铣-半精铣-精铣。2 块贮箱支架交替进行加工, 使得零件在加工过程中

有足够的自然时效时间, 释放加工过程中产生的残余应力。另外, 对于减轻孔、槽的加工采用先大后小、对称加工的方式, 从而保证了 2 块支架的加工精度要求。

粗铣: 粗铣外形-粗铣厚度至尺寸-粗铣外形, 各减轻孔、槽; 铣, 铰工艺孔-工件翻身铣厚度至尺寸-粗铣外形-粗铣反面减轻孔-粗铣侧面凹槽-自然时效。

半精铣: 半精铣厚度至尺寸-半精铣外形-半精铣各减轻孔、槽-工件翻身铣厚度至尺寸-半精铣反面减轻孔-半精铣侧面凹槽-自然时效。

精铣: 精铣厚度至尺寸-精铣准外形-精铣各减轻孔、槽-工件翻身铣准厚度-精铣反面减轻孔-精铣侧面凹槽-稳定化热处理。

2.3 典型的工艺措施

2.3.1 工装设计

考虑贮箱支架有较高的平面度和平行度要求, 文中采用了经过长期放置的铸铁工装台作为零件的加工平台。零件加工前先对工装平台进行了高精度自铣加工, 使工装的平面度达到了 0.02 mm。并在工装平台上增加了 M12 螺纹孔, 等距分布在工装台面上。这样可以使整个支架固定在工装台面上, 并且采用多点同时装夹的方式, 有效地保证了零件的装夹和加工。侧面槽加工多点装夹方式如图 2 所示。

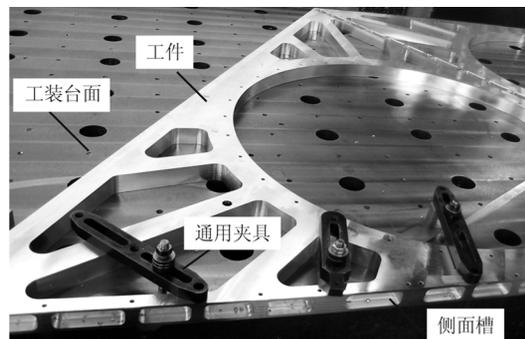


图 2 侧面槽加工多点装夹方式

Fig.2 Multi-point clamping method of side groove machining

2.3.2 工艺孔及工艺凸台

根据基准统一原则, 本案例增置了 4 个工艺孔, 作为正反面加工的基准孔, 避免了基准转换的误差, 从而提高加工精度。基准孔的设置如图 3 所示。

在粗加工过程中贮箱支架的周边设置了工艺凸台, 可以实现一次装夹中完成整个平面和外形的加

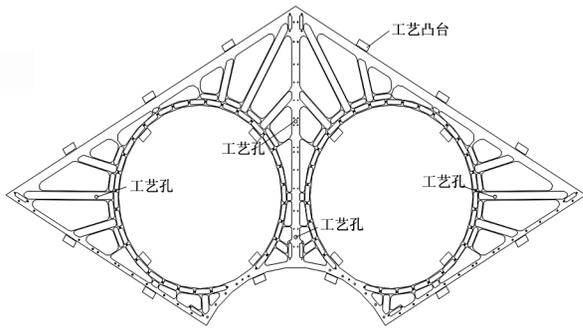


图3 工艺孔及工艺凸台设置

Fig. 3 The setting of process hole and boss



图4 硬质合金可转位面铣刀

Fig. 4 Cemented carbide indexable face milling cutter

工,避免因反复装夹定位造成的安装误差,从而满足了零件的加工精度要求。

2.3.3 一面两销定位方式

加工圆弧形侧面凹槽时,应用了直线近似圆弧原理,采用一面两销的定位方式。节省加工时间的同时,也提高了零件加工的定位精度。

2.3.4 热处理

贮箱支架在粗加工和半精加工过程中分别进行了一次自然时效处理^[2],精加工完成后又增加了一次稳定化处理。加工结果表明,3次热处理过程有效地保证了零件加工过程的强度和刚度要求,减少了零件的变形。

2.4 刀具的选择和工艺参数的确定

由铝合金的强度和硬度较低,导热性好,铣削负荷轻等切削特点,同时考虑准高速切削的要求,贮箱支架的数控加工选用的刀片材料为H216T,此类刀片可以减小与铝合金材料的化学亲和力,非常适用于铝合金和有色金属切削^[3-4]。

根据零件的尺寸要求,并考虑“薄而大”的特点,在粗铣、半精铣、精铣各工序中确定了不同的刀具、切削速度和加工余量。

铣上下平面:选择直径为 $\phi 80$ mm的硬质合金可转位面铣刀,刀柄刚性强,适用于铝合金的高速切削。进给率 F 为10002000 mm/min,主轴转速 S 为20003000 r/min,各加工工序中粗切最大步进量为3 mm。硬质合金可转位面铣刀如图4所示。

铣槽:选择铝合金专用整体硬质合金键槽铣刀如图5所示。粗加工过程为了提高切削效率,选用直径为 $\phi 20$ mm的整体式铣刀,精加工过程中为了



图5 硬质合金两刃键槽铣刀

Fig. 5 Cemented carbide two edged keyway milling cutter

满足结构要求,选取直径为 $\phi 6$ mm, $\phi 8$ mm的整体式加长铣刀,提高切削效率的同时,保证了零件表面加工质量。选取进给率 F 为10002000 mm/min,主轴转速 S 为20003000 r/min,不同工序中,粗切最大步进量2 mm,精修一次,精修最大步进量0.4 mm。由于采用了具有轴向切削能力的两刃键槽铣刀,在数控加工中使用了螺旋下刀的方法,减少了铣削过程中的切削抗力,很好地保护了刀具。

以切削贮箱支架上下两平面为例,计算切削力及功率。选择直径为 $\phi 80$ mm的硬质合金可转位面铣刀,进给率 $F = 2000$ mm/min,主轴转速 $S = 2000$ r/min,各加工工序中粗切最大步进量3 mm。由切削速度、切削力和切削功率计算公式^[4]得:

$$v_c = \frac{S\pi d_0}{1000} = 504.2 \text{ mm/min}$$

$$F_z = \frac{C_F a_p^{x_F} a_f^{y_F} a_w^{u_F} z}{d_0^{q_F} n^{w_F}} k_{F_z} \approx 700 \text{ N}$$

$$P_m = \frac{F_z v_c}{6 \times 10^4} = \frac{F_z \pi d_0 S}{6 \times 10^7} \approx 6 \text{ kW}$$

式中: $C_F=1938$, $x_F=1.0$, $y_F=0.75$, $u_F=1.1$, $q_F=1.3$, $w_F=0.2$, $a_f=0.18$ mm/z, $a_p=3$ mm, $a_w=48$ mm, $d_0=80$ mm

从计算结果可见,综合考虑加工环境、切削加工选用的切削刀具、工艺参数等因素,加工过程中的切削力较小,切削过程稳定,满足薄壁件加工要求,在现有的加工设备和加工环境下,提高了铣削加工的加工效率。

2.5 冷却措施

采用油冷的方式进行冷却。在挖槽铣过程中,采用两根油管对冲冷却方式,既加强了冷却效果,又利用冲压进行排屑,提高了加工表面质量。

3 CAM 程序编制

3.1 数控程序编制流程

结合本案例的数控加工设备和加工精度要求,拟定贮箱支架的数控程序编制流程如图6所示。

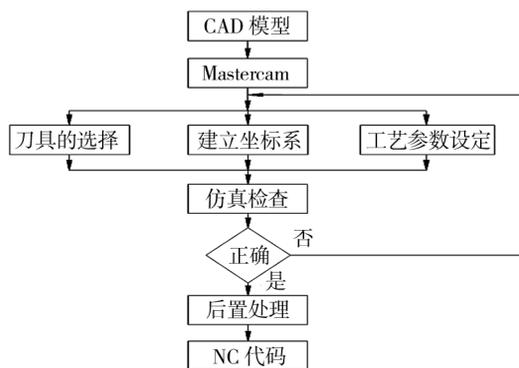


图6 贮箱支架的数控编程流程

Fig.6 CNC programming flowchart of tank frame

利用 AutoCAD 绘图软件进行贮箱支架的二维建模,将模型导入 Mastercam X 后,进行刀具的选择,工件坐标系的建立和工艺参数的设置。经过三维切削动画仿真,检验是否存在过切或欠切等加工缺陷。如果发现问题,则返回,对切削参数进行修正。如果通过检验,则利用系统配置的后置处理文件,生成可以用于数控加工的 NC 代码^[5]。

3.2 数控程序处理

由于侧面槽的加工面是竖直平面,除了采用

90°变速转向接头外,还要在程序编制时考虑加工平面的转换,坐标的变换,原程序中采用的左刀补和逆时针圆弧插补运动也需要进行相应的转换。具体的转换方法见表1。

表1 NC 代码和坐标系转换

	程序代码	坐标系	刀补	圆弧插补
xy 平面	G17	无	G41	G3
转换到 xz 平面	G18	z+变 y-, z-变 y+	G42	G2
转换到 yz 平面	G19	z 变 x	无	无

加工侧面槽的现场过程如图7所示。

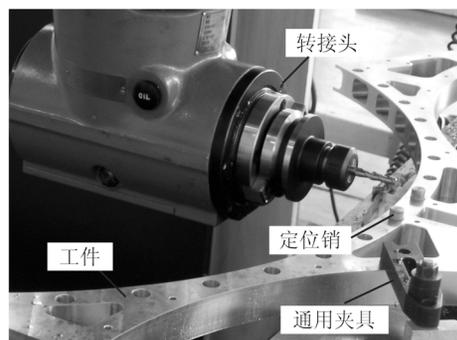


图7 侧面槽加工过程

Fig.7 Side groove machining process

3.3 加工过程仿真

编程结束后,利用 Mastercam X 加工过程仿真工具进行了贮箱支架的刀具切削三维仿真,并进行了过切检查,最后通过配置的 SIEMENS 802D 后处理文件生成了用于数控加工的 NC 代码。单面轮廓加工过程仿真如图8所示。

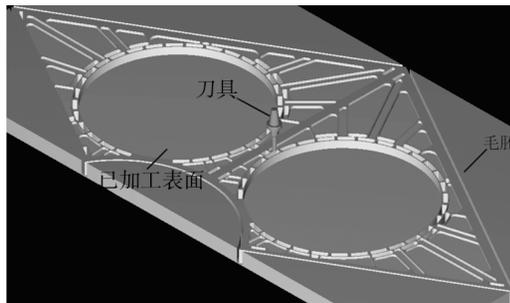


图8 单面轮廓加工过程仿真

Fig.8 Single-side contour machining process simulation

4 结语

通过某型号卫星贮箱支架的数控加工过程,分

析总结了零件的加工工艺和数控编程流程,探讨了采用CAD软件和Mastercam X数控编程软件的数控编程方法。贮箱支架加工完成后对其进行了检验,单个支架总质量分别为22.4 kg和22.6 kg,上下两平面平面度为0.2 mm,各孔相对位置准确,壁厚均匀,各项参数均满足设计要求。贮箱支架实物如图9所示。

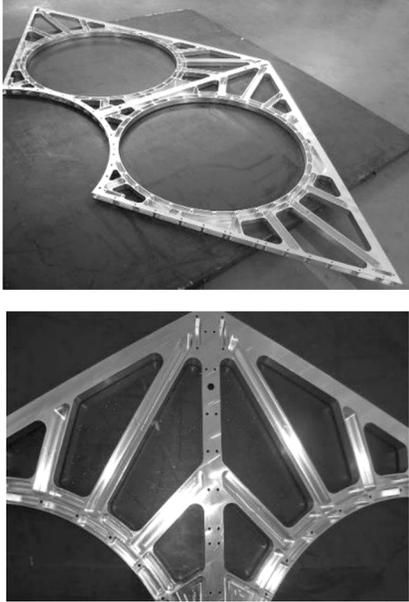


图9 贮箱支架实物
Fig.9 Real tank frame

实践证明,某型号卫星贮箱支架零件高效加工工艺方法的应用和工艺参数的选择是合理的,为以后此类大型框架式薄壁类零件的数控加工提供了参考。

参考文献:

- [1] 高慎斌. 卫星制造技术[M]. 北京:宇航出版社,1998:287-289.
- [2] 支道光. 机械零件材料与热处理工艺选择[M]. 北京:机械工业出版社,2008:188-190.
- [3] 徐宏海. 数控机床刀具及其应用[M]. 北京:化学工业出版社,2005:78-80.
- [4] 孟少龙. 机械加工工艺手册[M]. 北京:机械工业出版社,1991:101-105.
- [5] 潘子南. Mastercam X 基础教程[M]. 北京:人民邮电出版社,2008:21-24.

(上接第68页)

5 现压弯成形工艺流程

现压弯成形的工艺流程为:备料(波导管)→铣长度→去毛刺→去应力退火→清理→校形→压弯并校形→铣长度→去毛刺并校形→钳-焊(接箍)→清理并校形→表面处理。

6 结语

应用现压弯成形工艺成形一套比较器的波导与

应用电铸工艺生产制造相比,成本从50000元减至20500元,节约29500元;制造周期从50天缩短至15天。现压弯成形工艺比原压弯成形工艺能有效地提高成形尺寸的精度和一致性,对某些尺寸精度要求高的弯波导管的成形用现压弯成形代替电铸工艺,可以降低生产成本、大大缩短制造周期。

参考文献:

- [1] 肖祥芷,王孝培. 中国模具设计大典[M]. 江西:江西科学技术出版社,2003:183.