

薄壁半球类零件的数控加工

徐之焜

(上海航天动力机械研究所, 陕西 西安 710100)

摘 要: 通过对某型号火箭薄壁半球零件的加工, 对该零件在数控加工时所需的工艺流程的安排、工装的设定、刀具的选用以及数控程序的编制作了阐述。介绍了以这个零件为基础库, 加工其它类似半球类零件的情况。

关键词: 薄壁半球零件; 工艺流程; 工装; 数控编程; 基础库

中图分类号: V462

文献标识码: B

文章编号: (2006)02-0041-05

Numerical processing of thin-wall hemispherical type parts

Xu Zhikun

(Shanghai Spaceflight Institute of Power Machinery, Shanghai 200233, China)

Abstract: The process flow such as MCP, tooling set-up, cutting tool selection and NC programming of thin-wall hemispherical part machining was introduced based on numerical processing of thin-wall hemispherical part of X rocket model. Machining process of other similar hemispherical type parts was described based on this database.

Key words: thin-wall hemispherical part; MCP; Tools; NC-program; Database

1 薄壁半球零件介绍

该零件用在某火箭上, 用作气瓶的上下两个半球。零件的三维模型见图 1。零件由一个壁厚仅为 2.6mm 的半球体、半径尺寸为 SR47mm 和顶部的短圆柱体组成。零件所有设计尺寸中壁厚尺寸和内圆弧尺寸最为重要。(1) 内圆弧尺寸加工是

否准确, 直接关系到充气容积能否达到设计要求;

(2) 壁厚 t 在设计过程中与爆破压力相关, 可计算出需要多少 MPa 才能将气瓶炸破, 同时它在加工时也是一个十分重要的计量尺寸。除了以上两个尺寸外, 还有焊接平面(图 2)的平面度, 它主要牵涉到在焊接时上下半球(图 3)焊缝的大小, 以及焊完后的各项技术检验指标能否达到设计要求。

收稿日期: 2005-11-10; 修回日期: 2006-03-20。

作者简介: 徐之焜(1980—), 男, 助理工程师, 研究领域为难加工材料的机械加工以及计算机辅助数控加工。

零件材料是 0Cr15Ni7Mo2Al。这种材料是一种不锈钢，能耐空气、水、盐的水溶液、酸以及其他腐蚀介质的腐蚀，是一种具有高化学稳定性的钢材。在这个零件中材料呈半奥氏体，具有良好的室温及低温韧性、焊接性、耐腐蚀性及耐热性。此种材料在近几年的世界航天、航空、武器中用于气瓶、支臂、连接螺栓等，应用十分广泛。

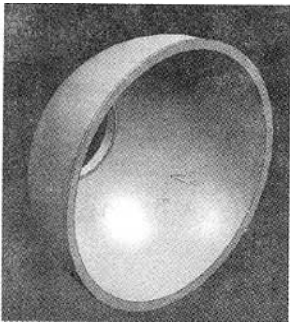


图 1 三维模型

Fig.1 3D model

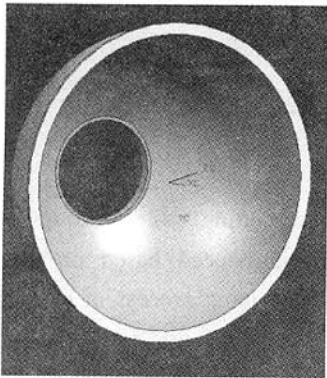


图 2 焊接平面

Fig.2 Welding surface

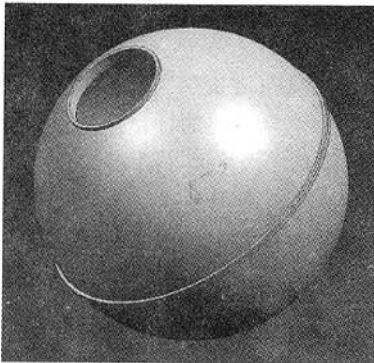


图 3 焊接图

Fig.3 Welding schematic

2 数控机床加工工艺流程安排

从外形来看，这个零件属于回转体零件。因此在机械加工时主要考虑用车床加工。同时必须考虑这个零件的以下特性：

- (1) 壁薄；
- (2) 内腔尺寸的控制；
- (3) 焊接平面的平面度的保证；
- (4) 圆柱段较短，难以装夹，在加工时必须考虑添加工艺块和特定的工装；
- (5) 零件的材料是不锈钢，加工时比较粘刀，所以工艺人员需要选取适当的刀具，以便于加工。

经过一段时间的生产和工艺流程的不断改进，最终确定了一份行之有效的工艺流程（图 4）。首先，下料阶段，并不选用传统的棒料，而是选用已经与零件外形较为接近的热模锻件，这两者在加工时的情况是不一样的（表 1），同时在热锻零件的后部圆柱体留有工艺余量，起到工艺块的作用。接着两道普车车加工，粗车零件的尺寸。在粗车后是三道数控车加工：第一道数控车加工的主要任务是将内腔半径加工到位，焊接平面达到设计要求；第二道数控车加工的主要加工任务是加工外球尺寸，以确保壁厚为 2.6mm；第三道数控加工的任务便是车去工艺块，零件最终成形。以上三道数控加工中的最后两道，为了能达到加工要求，设计了两套工装。这两套工装在这个加工流程中起到了画龙点睛的作用。同时，为了确保加工流程的顺利进行，特别是在数控车加工的精加工，结合不锈钢的加工特性：粘刀，表面加工硬化等，选用 SANDVIK 的 T-MAXP 系列车削刀具。T-MAXP 是为现代生产环境中高性能车削开发的。这种刀片特别为满足一些车削应用的特殊要求进行了优化，为不锈钢、耐热优质合金（HRSA）和淬硬材料的精车加工提供了良好的切削作用。

表 1 下料对比

Tab.1 Comparison of materials		
	棒料	热模锻件
加工余量	多	少
加工变形	大	小
加工效率	低	高

4 NO20 车夹具工装

NO20 数控加工的主要目的是车外球面（图 5）。在这一道工序以前，内腔面已经加工完毕。

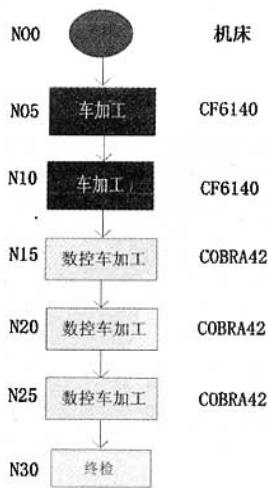


图 4 工艺流程

Fig.4 Machining process

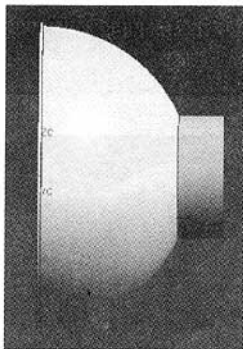


图 5 外球面

Fig.5 Outer surface of the hemisphere

3 车夹具工装的设计

首先我们来看一下，在实际加工中，只有在最后两道数控车加工需要工装，其余的车加工都以工艺块装夹，如果不选用车夹具工装，会遇到什么问题（表 2）呢？由于零件的外内形特点、尺寸的要求，在加工时选用传统方法加工风险比较大。在表 1 中可以看出，在“加工过程风险评估（P-FMEA）”中风险系数 RPN： $RPN_{min} \geq 50$ ，所以，为了避免高 RPN 值的出现，必须对装夹方式进行改变。目前在几个批次的生产过程中，较为稳定的方法是使用车夹具工装。在工装设计过程中，必须对零件的设计要求理解，保证关键尺寸。由于最后两道数控车加工需要工装，并且两道数控车加工的内容又截然不同，工艺人员需要两套车夹具工装。

表 2 风险系数表

Tab.2 RPN table

	加工问题	RPN
1	预紧力不足	70
2	定位困难	60
3	零件厚度保证困难	80
4	零件变形	60
5	工艺块难以车去	50

$T = SR1 - SR2$ (1)

式中，T 为厚度；SR1 为外腔半径；SR2 为内腔半径。

通过上面的式子，可以看出只有以内腔面作为定位基准，进行加工，才有可能将厚度控制在设计要求的范围以内：

$T \in [2.6, 2.7]$ (2)

所以 NO20 车夹具工装的功能要求是：

- (1) 提供内腔定位功能
- (2) 提供与车床连接功能
- (3) 提供稳定的预紧力

以上 3 点在工装中分别通过：外球面与零件内腔定位，通过工装上的圆柱体与主轴上的弹簧接头夹紧，最后用螺母将零件与工装锁紧。在这套工装中（图 6）对外球面的精加工程序，是由零件内腔精加工程序反向加工而成的，同时考虑到直接完全引用，有可能造成零件无法安装，我们在编写这一段程序时，通过几次调整，最终寻找到一个比较好的 R 值。由于工装的外球面与顶部的工艺块是在同一次装夹下加工完成的，因此外球的轴线与工艺块的轴线是同轴的，当零件的内球面与工装的外球面相贴合后，零件的轴线与工装的轴线基本重合，同轴度在 0.02mm 以内。同

时在加工时对工艺块的端面略微车去一点, 设置为 X 轴的起始 0 点及编程起始点, 再通过弹簧夹头将工装与数控机床的轴线重合, 并以工装的大平面为 X 方向的基准靠死, 零件通过螺母锁紧(图 7), 便可加工。此外为了能够适应多种弹簧夹头的使用, 顶部圆柱体的直径一般可以选用 36mm、38mm 和 41mm。

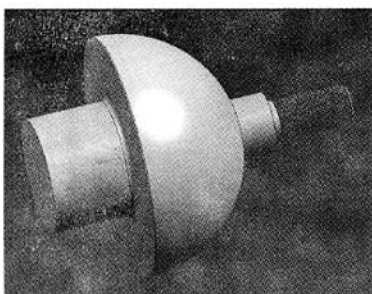


图 6 工装

Fig.6 Tool

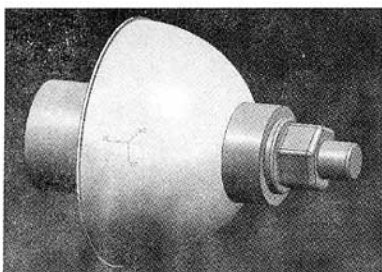


图 7 工装装配图

Fig.7 Tools assembly

5 NO25 车夹具工装

NO25 数控加工的主要目的是车去工艺块。当零件加工到这一步时, 如何在解决不影响零件已加工尺寸、形位精度要求不发生变化的条件下, 车去工艺块, 就十分重要。为了避免这些情况的出现, NO25 车夹具工装分为两个部分: ①上盖(图 8), 它通过其的一小段内球面, 与零件的外球面相结合起到定位作用; ②底座(图 9), 它的外螺纹与上盖连接, 同时起到调节的作用, 使底座的大平面能将零件压紧在上盖里; 此外这个工装和上面的那套工装一样, 用圆柱体与车床上的弹簧接头相连接, 它的定位原理也与上面的那套工装

一样(图 10)。当然在加工上盖的内球面时, 也需要将加工零件外球面的程序作为参考, 经过调试再予以应用。

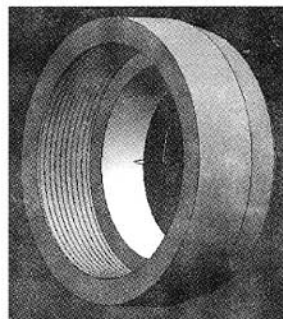


图 8 上盖

Fig.8 Top cover

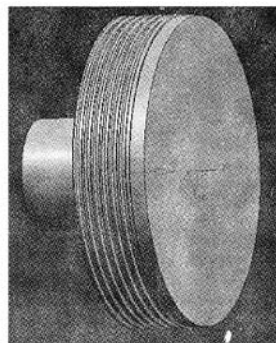


图 9 底座

Fig.9 Bottom-cover



图 10 工装装配图

Fig.10 Tools assembly

由于使用了这两套工装, 零件在最后两道数控车加工中, 加工风险顺序数(RPN OF P-FMEA)明显降低(表 3)。有了工装的辅助, 加工时的定位简单, 效率明显提高。

表 3 风险系数对比

Tab.3 The comparison of RPN			
	加工问题	RPN (No-Tools)	RPN (Tools)
1	预紧力	70	20
2	定位	60	20
3	零件厚度保证	80	30
4	零件变形	60	30
5	工艺块加工	50	30
	RPN 总值	320	130

6 数控程序的编制和基础库的建立

在整个加工过程中，所有的精加工都是在数控车上完成的。所以，数控程序编制是否适用是十分重要的。鉴于 Cobar42 使用的是 Fanuc Series 2i 的系统，它的界面比较简单，程序需要手动输入。

车外球面的数控程序，是所有程序中最重要的一环。虽然零件是经过粗加工的，但是在这一道（NO20 数控车加工）程序（图 11）中，仍需要分两刀加工。图中的两段语句，就是完成这个功能的：

(1) G03 X93.4 Z-59.01 R46.55

(2) G03 X93.4 Z-59.13 R46.55

它完成了在 Z 方向的两次进刀加工。最终零件的主要尺寸加工完毕，经测量厚度达到设计要求，程序合格保留。

可以看出，这类薄壁半球是一种典型的零件。零件本身及其工装在加工时都使用数控车床。为了能够适合不同的尺寸要求，即厚度(T)、内腔半径(SR2)不同的薄壁半球零件及其工装的加工，我们可以建立一个薄壁半球类零件的加工基础库。在这个基础库中有两个最重要的参数：

- T 薄壁半球零件的壁厚
- SR2 薄壁半球零件的内腔半径

只要将新的参数输入到基础库中的模块化工艺流程，由工艺流程将新的参数传递到原有的数控模块化程序，才可进行加工。

...
N20
t0404
G97 M13 S350
G01 G99 Z3 F20.
X38.03
Z-17.1 F0.1
G03 X93.4 Z-59.01 R46.55
G01 X95.2
Z-60.5
X98
M98 P1
M01
N25
G97 S350 M13
T0404
G01 G99 Z3 F20
X38.03
Z-17.25 F0.1
G03 X93.4 Z-59.13 R46.55
G01 X95.18
Z-60.5
X98
M98 P1
M30

图 11 数控程序
Fig.11 NC program

7 结束语

从前所述，可以发现加工薄壁半球零件时，首先必须分析其重要的和关键的尺寸是什么；其次是设计适合的工装，选择必要的刀具来加工。同时，通过建立一个标准的薄壁半球零件基础库，使在加工同类零件时可减少不必要的重复工作，缩短工作时间，提高生产效率。总之，寻找一个好的加工方法，对薄壁半球零件的质量控制是十分重要的。现在我们正在寻求更先进、更经济、更高效的加工方法。

（编辑：王建喜）