

回转体槽类零件数控加工工艺设计

费勇

(中核建中核燃料元件有限公司 四川 宜宾 644000)

摘要: 随着计算机的广泛应用, 现在人们普遍使用计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM 软件机械设计进行零件设计与制造。在加工制造上, 主要设备包括数控铣床、数控车床、车铣磨焊多种复合加工中心、增材制造、3D 打印和智能辅助设备。机械设计与机械制造行业水平不断提升。数控加工工艺设计的目的是设计出一个好的加工工艺方案, 这个加工工艺必须使加工出的零件满足各项技术要求, 并且还须适合数控机床加工。本研究是轴类零件槽型加工的实际操作和加工技术。

关键词: 回转体槽类; 零件数控; 加工工艺

1 零件二维图的绘制及图样分析

1.1 零件二维图的绘制

CAXA 数控车软件的基本操作包括文件操作、执行命令、输入点、选择对象, 以及如何使用动态菜单、动态输入、屏幕的显示控制等交互工具。图 1 所示为零件图纸。

1.2 零件图的分析

图 1 所示的这种多槽类零件很少应用在现实中, 多数出现在数控技能大赛上, 主要考察参赛者计算机辅助设计 CAD、计算机辅助制造 CAM 软件的应用情况。该零件是短轴类零件, 外圆上有多个大小、深度不同的槽, 外形轮廓相当复杂。此零件总长为 145mm, 最大直径 $\phi 77\text{mm}$ 。形位公差同轴度 0.03mm, 平行度公差 0.02mm, 精度要求较高, 个别外圆尺寸要求也比较高, 槽零件的右端由直径为 $\phi 43\text{mm}$ 外圆、 $\phi 48\text{mm}$ 外圆、 $\phi 65\text{mm}$ 外圆和 $\phi 77\text{mm}$ 最大外圆, 5mm 和 10mm 两个高精度外槽 (槽与槽之间壁

厚 11mm 和 8mm), 以及内孔及内螺纹组成。零件的右端是非常特别的 5mm 的端面槽, 内部还有多个台阶孔。该零件的加工工艺首先需要考虑同轴度和平行度的要求。

2 零件加工工艺规程设计

2.1 零件的工艺分析

2.1.1 毛坯的尺寸大小、材料

毛坯尺寸为 $\phi 80\text{mm} \times 147\text{mm}$, 材料为铝棒, 牌号为 7075。

2.1.2 加工方案分析

零件外形复杂, 主要由多个大小深浅不一的槽构成, 内部由多个大小不同的孔贯通。形位差尺寸有同轴度、平行度。尺寸公差有外径尺寸、内孔尺寸、长度尺寸和螺纹尺寸。形位公差和尺寸公差要求都较高, 而且加工难度较大, 零件材料为铝材, 容易加工。零件加工分析首先要看基准面, 考虑形位公差同轴度 0.03mm, 所以基准面

A $\phi 77\text{mm}$ 外圆要和 $\phi 38\text{mm}$ 的孔在一次装夹中完成 (俗称“一刀下”)。平行度有要求的两个面也需要在一次装夹中完成。对于有精度要求的尺寸如 $\phi 77 \pm 0.02\text{mm}$ 、 $\phi 52 \pm 0.02\text{mm}$ 、 $8 \pm 0.05\text{mm}$ 等尺寸, 需要进行粗加工和精加工, 便于更好地控制尺寸精度。

2.2 零件的定位和装夹方式

轴类零件一般以轴线为基准, 用毛坯左端外圆和端面作为开始的装夹定位, 并在右端用顶尖支撑装夹方式。调头加工左端时, 用铸铁套或铜皮夹持对已完成加工的 $\phi 48\text{mm}$ 外圆进行

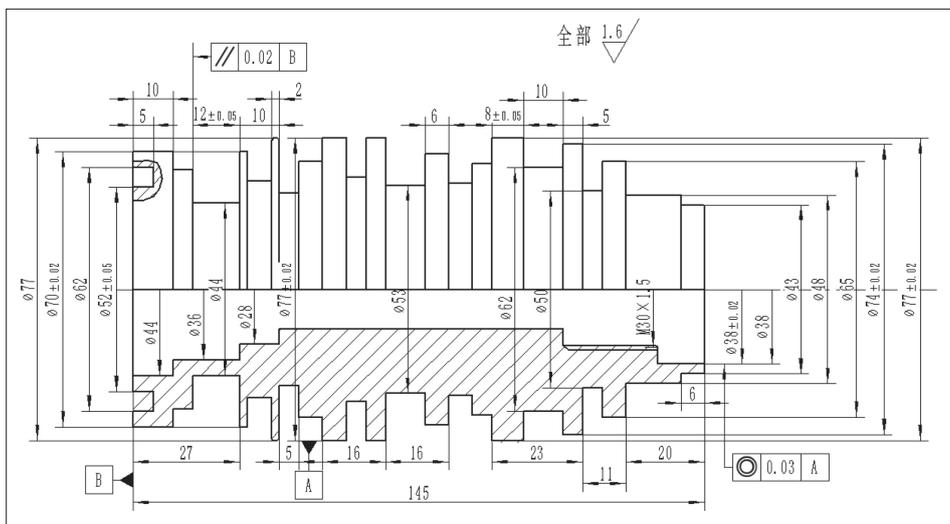


图 1 零件图纸

加工。

2.3 刀具、量具的选择

在零件的数控加工中，刀具的正确选择是核心内容之一。正确使用刀具可以提升加工效率和加工质量。因此要根据加工工艺要求，选择合适合理的刀具。根据零件加工测量的需求，确定刀具和量具如下：

刀具：95° 外圆车刀、93° 外圆车刀、外径槽刀（3mm）、镗刀、钻头 $\phi 20\text{mm}$ 和端面槽刀（3mm）；

量具：游标卡尺、外径千分尺和内径百分表。

2.4 确定加工工序

分析零件图可知，使用数控车床进行加工的工序如下：

(1) 加工工序 1：加工有螺纹端内孔。

平端面→钻头钻 $\phi 20\text{mm}$ 底孔→镗刀镗螺纹底孔→加工 $M30 \times 1.5$ 螺纹→加工 $\phi 38 \pm 0.02\text{mm}$ 孔。

(2) 加工工序 2：加工外形凹槽。

95° 外圆车刀粗加工外径→精加工外径 $\phi 43\text{mm}$ 、 $\phi 48\text{mm}$ →槽刀粗加工外形槽→精加工外形槽。

(3) 加工工序 3：调头加工内孔。

平端面 95° 外圆车刀控制总长 145mm →镗刀镗 $\phi 28\text{mm}$ 、 $\phi 36\text{mm}$ 、 $\phi 44\text{mm}$ 内孔。

(4) 加工工序 4：加工外形槽。

槽刀加工 $\phi 44\text{mm}$ 、 $\phi 62\text{mm}$ 槽底尺寸 →槽宽 $12 \pm 0.05\text{mm}$ 。

(5) 加工工序 5：加工端面槽。

加工端面槽内径尺寸 $\phi 52 \pm 0.05\text{mm}$ 、 $\phi 62\text{mm}$ ，控制槽深 5mm。

(6) 加工工序 6：精加工外径尺寸。

上顶尖→93° 外圆车刀精加工外径尺寸 $70 \pm 0.02\text{mm}$ 、 $74 \pm 0.02\text{mm}$ 、 $77 \pm 0.02\text{mm}$ 。

零件第一次装夹时，加工毛坯件的伸出卡盘为 120mm，首先钻孔、镗孔、加工内螺纹，加工右端外圆和槽，并保证加工尺寸精度。加工工序包括图 2 所示的加工工序 1 路径、加工工序 2 路径。

零件的第二次装夹，零件需要夹持稳定可靠，不要夹伤工件已加工表面。工件外部需要铸铁套或包裹铜皮装夹。加工工序包括图 2 所示的加工工序 3 路径、加工工序 4 路径、加工工序 5 路径和加工工序 6 路径。

3 数控加工程序的编制

3.1 切削用量的分析

合理规范的使用切削速度、刀具数量、进给速度等几大参数。切削用量见表。

3.2 零件加工步骤及程序的编制

3.2.1 零件右端加工步骤

零件右端的加工步骤如下：

(1) 首先是工件毛坯的安装，夹持圆棒毛坯伸出

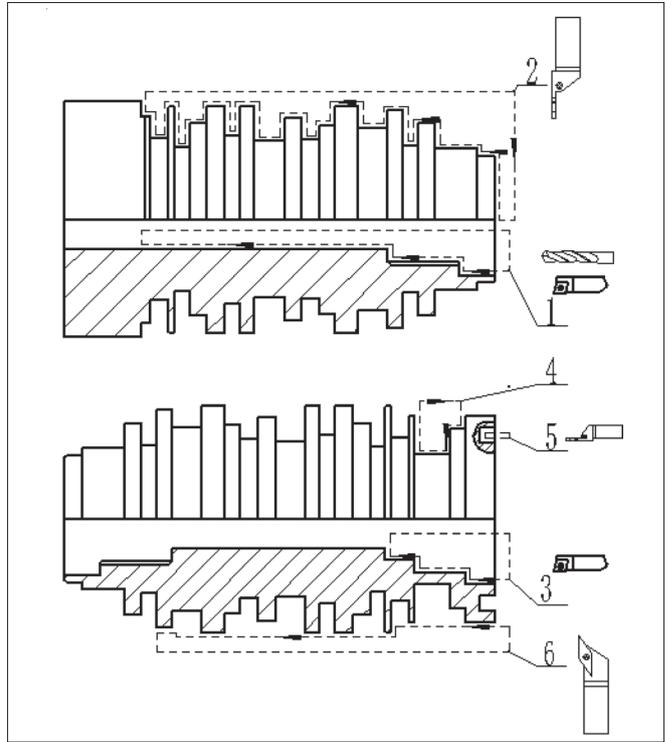


图 2 加工工序简图

表 切削用量推荐表

| 加工工序 | 刀具名称 | 刀具号 | 主轴转速 / (r/mm) | 进给量 / (mm/r) | 切削深度 /mm |
|------|----------|-------|---------------|--------------|----------|
| 1 | 钻孔 | — | 400 | 手动 | — |
| 2 | 95° 外圆车刀 | T0101 | 800 | 0.3 | 2 |
| 3 | 93° 外圆车刀 | T0202 | 1500 | 0.1 | 0.5 |
| 4 | 切槽刀 | T0303 | 1200 | 0.1 | — |
| 5 | 镗孔刀 | T0404 | 800 ~ 1200 | 0.3 | 1 |
| 6 | 端面槽刀 | T0505 | 800 | 0.3 | 2 |
| 7 | 车螺纹 | T0606 | 600 | — | 0.3 |

120mm 的位置，其次是装夹车刀，1 号刀具装外圆的粗车刀，2 号刀具装外圆的精车刀，3 号刀具使用外圆的切槽刀，4 号刀是内孔刀，5 号刀是菱形内孔镗车刀；

(2) 将加工内孔和内螺纹的程序输入机床，并进行程序校验；

(3) 程序校验正确无误后，对刀具使用固定的试运行；

(4) 开始加工前要判断定位对刀是否准确，若准确无误后运行机床加工零件；

(5) 第一刀半精加工后测量尺寸，在留有余量的外圆尺寸进行磨耗修改；

(6) 加工完成后，确认工件是否达标，卸下工件。

该零件的内孔及内螺纹的加工程序如下：

```

O0001 ;          程序名
G21 G99 ;       程序初始化
M03 S800 ;      主轴正转，转速 800r/min
T0505 ;         菱形内孔镗车刀 5 号刀位
    
```

G00 X19 Z2 ; 快速定位到循环起点
 G71 U2 R1 ; G71 复合车削循环指令
 G71 P1 Q2 U-0.5 W0.1 F0.3 ; 精加工余量 X:0.5、Z:0.1
 N1 G00 X39 ; 精加工程序起始段 X 方向的起始直径
 G01 Z0 ; 定位到切削第一个点
 X38 Z-1 ; 加工内孔第一个倒角 C1
 Z-35 ; 内孔深度 35mm
 X31 ; 内螺纹外径倒角定位
 X28 W-1.5 ; 内螺纹外径倒角
 N2 Z-35 ; 内孔车削总深
 G00 X100 ; 返回换刀点退刀
 Z100 ;
 M0 ; 主轴暂停
 T0505 ; 换 5 号刀, 菱形内孔镗车刀
 M03 S1200 ; 主轴正转, 转速为 1200r/min
 G00 X19 Z2 ; 快速定位到循环起点
 G70 P1 Q2 F0.1 ; 精加工 G70 指令
 G00 X100 ; 回到换刀点退刀
 Z100 ;
 M0 ; 主轴暂停
 T0707 ; 换 7 号刀, 内螺纹刀
 M03 S600 ; 主轴正转, 转速为 600r/min
 G00 X26 ; 内孔 X 方向刀位
 Z-10 ; 内孔 Z 方向刀位
 G92 X28 Z-33 F1.5 ; 车削螺纹, 螺距 1.5mm
 X28.5 ; X 方向螺纹切深, 切削量越来越小
 X29 ;
 X29.3 ;
 X29.6 ;
 X29.8 ;
 X29.9 ;
 X29.95 ; 内螺纹 X 方向精修两刀
 X29.95 ;
 G00 X100 ; 退刀
 Z100 ;
 M30 ; 程序结束并返回

3.2.2 零件右端外圆加工步骤

零件右端外圆的加工步骤如下:

- (1) 提前将需要的工具和原材料备好, 把机床数值设定成起始点;
 - (2) 装夹对应型号和数值的刀具;
 - (3) 用铸铁套或铜皮包裹装夹, 零件未动只是进行了刀具更换;
 - (4) 设定此部件外围需要的程序, 接着对程序检查;
 - (5) MDI, 主轴转速设定为 800r/min, 设定并固定刀具;
 - (6) 再次确认各项工作是否到位, 开始加工;
 - (7) 加工完成后, 测量无误后, 拆下零件, 任务结束。
- 加工零件右端时先要进行外圆加工, 外圆加工的程序如下:

O0002 ; 程序名
 G21 G99 ; 程序初始化的设置
 M03 S800 ; 主轴正转, 转速 800r/min
 T0101 ; 95° 外圆粗车刀
 G00 X82 Z2 ; 快速定位到循环起点
 G73 U20 R10 ; G73 固定形状复合车削循环
 G73 P1 Q2 U0.5 W0.1 F0.3 ; 留有余量 X:0.5mm、Z:0.1mm
 N1 G00 X42 ; X 方向起始直径
 G01 Z0 ;
 X43 Z-0.5 ; 外圆倒角 C0.5
 Z-6 ; 外圆切削深度 6mm
 X44 ; X 方向直径 倒角前的定位
 X48 X-2 ; 外圆倒角 C2

Z-20 ; 切削深度 20mm
 X65 ; X 方向直径
 Z-11 ; Z 方向直径
 X74 ; X 方向直径
 Z-46 ;
 X77 ;
 G03 X78 W-1 R1 ; 最大外径的圆弧倒角 R1
 Z-54 ;
 X69 Z-66 ; 锥度衔接外径
 W-6 ; X 方向外径
 X77 W-10 ;
 N2 W-17 ;
 G00 X100 ; X 轴返回换刀点
 Z100 ; Z 轴返回换刀点
 M0 ; 主轴暂停
 T0202 ; 换镗孔刀
 M03 S1400 ; 主轴正转, 转速为 1400r/min
 G0 X82 Z2 ; 快速定位到循环起点
 G70 P1 Q2 F0.1 ; 精加工
 G00 X100 ; X 轴返回换刀点
 Z100 ; Z 轴返回换刀点
 M30 ; 程序结束并返回

3.2.3 加工零件外径槽

切槽手工编程容易出错, 该部分程序全部使用电脑软件生成程序, 零件右端切槽程序如下所示:

O0003 ;
 N10 G50 S3000 ;
 N12 G00 G97 S1000 T0303 ;
 N14 M03 ;
 N16 M08 ;
 N18 G00 X93.820 Z-19.389 ;
 N20 G00 Z-27.800 ;
 N22 G00 X75.400 ;
 N24 G00 X75.200 ;
 N26 G99 G01 X66.000 F0.300 ;
 N28 G00 X91.400 ;
 N30 G00 Z-29.800 ;
 N32 G00 X75.200 ;
 N34 G01 X59.000 F0.300 ;
 N36 G00 X91.400 ;
 N38 G00 Z-31.800 ;
 N40 G00 X75.200 ;
 N42 G01 X74.905 F0.300 ;
 N44 G00 X75.400 ;
 N46 G00 X75.600 ;
 N48 G00 Z-32.200 ;
 N50 G00 X75.200 ;
 N52 G00 X75.000 ;
 N54 G02 X71.600 Z-30.500 I-1.700 K0.000 F0.300 ;
 N56 G01 X59.000 ;
 N58 G00 X75.200 ;
 N60 G00 Z-27.800 ;
 N62 G00 X66.000 ;
 N64 G03 X62.600 Z-29.500 I-1.700 K0.000 F0.300 ;
 N66 G01 X59.000 ;
 N68 G00 X75.200 ;
 N70 G00 X75.600 ;
 N72 G00 Z-29.800 ;
 N74 G00 X59.400 ;
 N76 G00 X59.200 ;
 N78 G01 X51.000 F0.300 ;
 N80 G00 X59.400 ;
 N82 G00 X75.600 ;
 N84 G00 Z-30.500 ;
 N86 G00 X59.200 ;

N88 G00 X59.000 ;
 N90 G01 X51.000 F0.300 ;
 N92 G00 X75.200 ;
 N94 G00 Z-29.500 ;
 N96 G00 X59.000 ;
 N98 G01 X51.000 F0.300 ;
 N100 G01 Z-30.500 ;
 N102 G00 X59.200 ;
 N104 G00 X75.600 ;
 N106 G00 X93.820 ;
 N108 G00 Z-19.389 ;
 N110 M09 ;
 N112 M30 ;

4 结语

短轴槽类零件的程序编辑中，在内孔车削、螺纹车削等简单工序中，软件编程相比手工编程没有什么优势，但是编辑外形有多个深浅的槽加工轮廓复杂时，软件(CAXA 数控车)编程更快捷、方便、错误率低。多槽轮廓运动轨迹点位比较多，手工编程极易出错。在加工工艺设计中，首先要读懂图纸，了解重要技术要求，努力做到设计基准与加工基准相重合。根据经验选择合理的机床，根据零件形状和材料制定出工艺路线、各种切削参数。挑选正确的刀具，最终完成设计加工。

随着CAD、CAM软件技术的发展，软件功能越来越强大，但在工艺设计方案、切削参数使用等方面还需要人们在实际工作中慢慢地学习和积累。经过用心设计、

认真分析步骤和实践操作后，对加工工艺设计有新的认知。能加工出优质零件的前提一定是好的加工工艺方案，而好的加工工艺需要人们持续地学习创新并改进。

参考文献：

[1] 范德良. 公差技术测量 [M]. 沈阳：辽宁科学技术出版社，1983.
 [2] 薛彦成. 公差配合与技术测量（第二版）[M]. 北京：机械工业出版社，1999.
 [3] 李澄. 机械制图 [M]. 北京：高等教育出版社，2003.
 [4] 袁锋. 数控车床培训教程 [M]. 北京：机械工业出版社，2003.
 [5] 李华. 机械制造技术（第二版）[M]. 北京：高等教育出版社，2005.
 [6] 余英良. 数控加工与操作 [M]. 北京：高等教育出版社，2005.
 [7] 詹西华. 数控加工与编程（第二版）[M]. 西安：西安电子科技大学出版社，2004.
 [8] 黄瀚滢. 非单调轴类零件的数控加工工艺分析 [J]. 山东工业技术，2017(06):57.

作者简介：费勇（1973-），男，汉族，江苏涟水人，本科，高级技师，研究方向：数控机床加工。

(上接第7页)

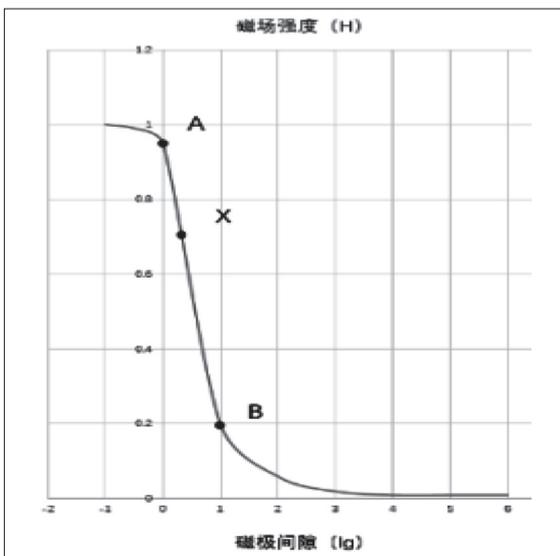


图7 磁场强度分布曲线

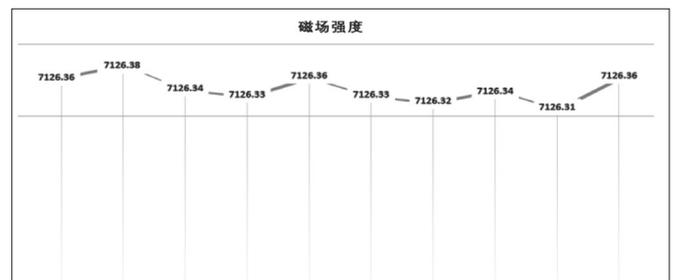


图8 X点磁场强度波动

代科学仪器，2009(06):124-128.
 [2] 马德华. 滚动轴承的优化设计 [J]. 河南科技，2010(14):140.
 [3] GB/T 4662—2012/ISO 76:2006, 滚动轴承：额定静载

荷 [S].
 [4] 杨晓蔚. 滚动轴承的减摩设计 [J]. 轴承，2013(11):55-58.
 [5] 夏田. 数控加工中心设计 [M]. 北京：化学工业出版社，2006.
 [6] 张晋西. SolidWorks 及 COSMOSMotion 机械仿真设计 [M]. 北京：清华大学出版社，2007.
 [7] 季欧. 质谱分析方法 [M]. 北京：原子能出版社，1978.

作者简介：杨少华（1989-），男，山东菏泽人，专科，研究方向：磁式质谱仪研发。