

基于MasterCAM平台典型喷嘴环的数控加工

南京机电液压工程研究中心 (江苏 211106) 张文丽

航空环境控制系统中有很多涡轮类产品，其中某重点型号的涡轮冷却器产品中的喷嘴环是个难加工件，在我中心科研生产实践中很常见（见图1）。

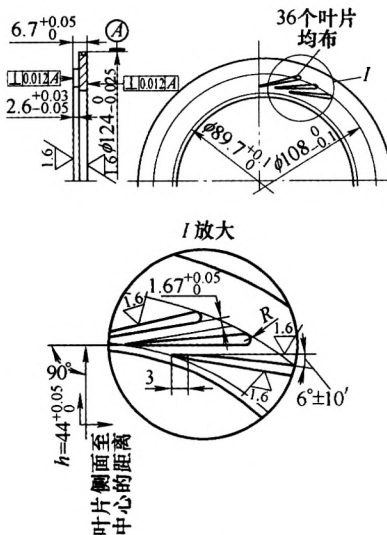


图 1

动鼓,就0.9s时蹄宽中点所对应的内、外表面应力,以及各个制动鼓的重量对比可知:三种不同改进结构的制动鼓内、外表面应力较原始结构都有所降低,综合考虑应力与重量,密集周向筋结构的制动鼓内、外表面应力降低最多,且重量较原始结构增加值小于加宽加强带50mm结构,所以为最优改进设计方案。

表2 结果对比分析

结构	原始结构	加宽加强带20mm结构	加宽加强带50mm结构	密集周向筋结构
内表面应力 (%)	100	99.4	98.9	97.7
外表面应力 (%)	100	99.2	96.8	88.9
重量 (%)	100	101.8	105.3	104.6

MW (收稿日期: 20120719)

它是一种材料为2Cr13的典型喷嘴环,利用我中心现有的数控设备,积极探索出加工该类零件较好的工艺方案及数控加工过程。

一、数控加工工艺分析

1. 结构特点及加工难点

该零件材料为马氏体不锈钢,其冷加工切削性能和磨削性能良好,属于薄壁盘类零件。它的特点是36个叶片均布,流道的喉道截面尺寸仅为 $1.6^{+0.05}_{-0.03}$ mm,流道深为 $2.6^{+0.03}_{-0.05}$ mm,流道底部和叶片侧面粗糙度值 $R_a=1.6\mu\text{m}$,流道底面与内外端面尽量接平。其加工难点在于流道的喉道截面尺寸很窄且流道深,精度要求高,使得加工时刀具的选择非常有限,需定制专用刀具;如工艺方案或数控加工参数设置不当,零件极易产生变形和喉道截面尺寸超差。

2. 工艺方案分析

该零件毛坯选用棒料，采用先粗后精的工艺方案，制定总体流程：毛坯→粗车→粗铣→时效→磨加工→精铣→精车→平磨。

粗车：车出零件大致轮廓，留出磨量；在工件中间留单边10mm，精铣装夹时上压板用；粗铣：在叶片侧面和流道底面均留出0.3mm精铣余量，选用普通铣床，根据喉道截面尺寸和需留的精铣余量，刀具选择刀宽为1mm锯片刀，时效：消除加工应力；磨加工：磨两端面、内孔及外圆，叶片上端面留有0.2mm平磨余量；精铣：叶片型面由数控程序一次成形加工来保证叶片及流道最终尺寸和精度要求，是本论文将阐述的重点；精车：车去内孔预留端，车外圆环槽；平磨：磨两端面，保证叶片深

度及零件厚度。

二、数控精加工程序总方案

利用分厂现有的编程软件和数控加工设备，探索出该喷嘴环的数控精加工铣削程序方案。

1. 编程软件

该数控精加工程序是基于编程软件MasterCAM 9.0平台生成，此软件无需画出实体，只需按1:1正确画出要加工的轮廓线，画出适当的图形和选择合适的加工参数即可自动生成用于数控机床加工的NC程序。注意画加工的轮廓线时一定要按最终尺寸的中差值来画。

2. 数控设备选择

精铣选用的加工中心设备：台湾友嘉VM-32sa，该设备的操作系统是FANUC SERIES 0i~MC，其性能指标为：主轴最高转速8 000r/min，快速移动30 000mm/min，行程800mm×500mm×500mm，机床内存容量为256kB。

3. 刀具选择

根据零件材料2Cr13，选用国产的整体硬质合金带涂层立铣刀。选用 $\phi 6\text{mm}$ 和 $\phi 3\text{mm}$ 立铣刀粗铣；因喉道截面尺寸为 $1.67^{+0.05}_{-0}\text{mm}$ ，流道深2.8mm，只能选用直径为 $\phi 1.6\text{mm}$ 立铣刀铣叶片型面，双刃且刃长为4mm。该材料刀具耐磨性好且成本相对较低。注意装刀时刀具要尽可能缩短伸出长度，以保证加工时的刀具刚性。

4. 加工中心铣削过程

按先粗后精的加工原则确定加工路线，采用轮廓铣削方式，用 $\phi 6\text{mm}$ 和 $\phi 3\text{mm}$ 立铣刀铣叶片流道内外口部；用 $\phi 1.6\text{mm}$ 立铣刀进行粗精铣叶片轮廓和流道底面。编程XY向原点设在工件已磨外圆圆心，Z向原点设在叶片外端已磨面。

(1) 走刀方式选择 选用轮廓铣削Contour，按中差画出叶片最终轮廓尺寸后，采用轮廓偏移直接画出刀具刀心走刀轨迹，注意计算机补偿类型关闭。每个叶片的走刀轨迹串联起来（省去36个叶片铣削之间不停的提刀），可有效节省加工时间，提高生产效率。

(2) 分层铣削 以Z向分层并以顺铣的方式进行（见后述程序）。 $\phi 3\text{mm}$ 立铣刀每层铣削深

度为0.2mm； $\phi 1.6\text{mm}$ 立铣刀粗精铣叶片均采用同一走刀轨迹，直接用叶片最终轮廓偏离刀具半径值，粗铣时由于刀具直径太小，每层铣削深度仅为0.05mm，铣削深度稍大则刀具极易断裂，刀具伸出长度5~6mm，伸出过长则刀具强度差，让刀现象严重。因刀具磨损快，故4号 $\phi 1.6\text{mm}$ 精铣刀磨损后再用于做3号 $\phi 1.6\text{mm}$ 粗铣刀。注意加工时是36个叶片Z向逐层向下铣削，切不可一个叶片铣削后再铣削下一个叶片，这会导致工件加工时受力不均匀，易受切削力影响而产生变形。

(3) 进退刀方式 以圆弧方式接近和离开工件，可有效避免突然接触工件时产生的接刀痕，有效保证零件的表面质量。

(4) 确定切削用量 切削用量详见后述程序，其中 $\phi 3\text{mm}$ 刀铣削时主轴转速3 000r/min，进给速度为600mm/min； $\phi 1.6\text{mm}$ 刀具粗精铣叶片切削用量确定很关键，粗铣主轴转速为7 000r/min，进给速度为1 500mm/min，精铣主轴转速为7 000r/min，进给速度为300mm/min。

(5) 主、子程序的调用 因机床内存总容量为256kB， $\phi 3\text{mm}$ 刀铣削时分14层， $\phi 1.6\text{mm}$ 刀粗铣时分56层，如直接利用MasterCAM 9.0软件的分层铣削功能生成用于机床加工的NC程序，则机床的内存容量远远不够；如利用机床的在线加工功能则存在很多弊端：操作者对程序无法手动更改；加工过程中刀具断裂后程序查询不方便；在线加工传输程序出错极易造成零件报废等。

在此采用了数控机床主、子程序的调用方式有效解决了这个难题，所占内存容量大大减少，程序修改和查询都很方便。在主程序中的调用格式为“G10L2P0Z-，M98 P-”，其中前者为对坐标系进行操作，实现Z向分层铣削，其后数值为坐标系Z向修改值；后者是调用子程序，P后数值为子程序号，每个子程序中只有铣削一层的加工数据。 $\phi 1.6\text{mm}$ 粗精铣一层的走刀轨迹如图2所示，从图中可看出，铣36个叶片时均没有提刀，每个叶片的刀具轨迹都串联在一起，进退刀时圆弧切入切出（注意圆弧前加了一小段直线），有效地节省了加工时间，大大提高了生产效率。

(6) 喉道截面尺寸控制和测量 喉道截面尺寸为 $1.67^{+0.05}_{-0}\text{mm}$ ，该尺寸的控制在于 $\phi 1.6\text{mm}$ 精加工子

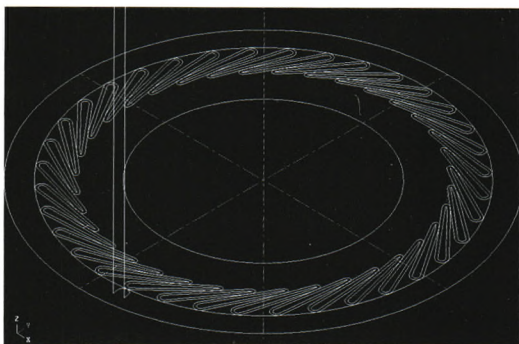


图 2

程序O4000中,其格式为G1G41D04,G41为顺铣刀具半径补偿,可通过修改D04(4号刀具)的磨损量来微调喉道截面尺寸。注意刀具半径补偿只有在走刀轨迹第一段程序是走直线时才能生效(即进刀时在圆弧前加一小段直线),故前有G1直线指令。如喉道截面尺寸小光面塞规通端不过,则磨损量应为负值。注意最后精修时走刀速度一定要慢,精加工的切削速度仅为300mm/min。

测量喉道截面尺寸的光面塞规如图3所示,如果流道形成上宽下小的喇叭状,只要流道上端光面塞规止端不过,则可多次空走最后的精铣程序O4000,即可消除下端的倒锥。注意加工时冷却液要充分冷却、润滑以吸收切削产生的热量。

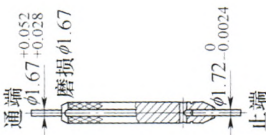


图 3

三、加工验证

零件加工完后的成品如图4所示,该喷嘴环采用以上方式编制工艺流程和数控铣削程序,缩短了生产准备时间,既有效地保证了产品质量,又大大地提高了生产效率。

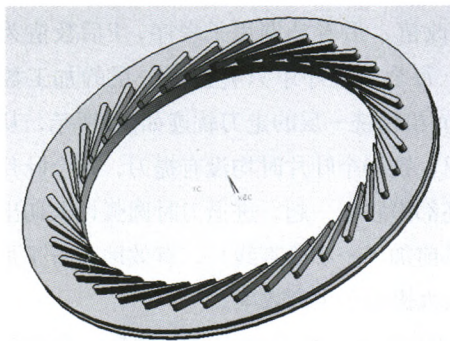


图 4

部分数控铣削程序如下:

```
%
O0001 (主程序)
N1 G17G40G49G54G80G90
N3 G30G91Z0 (换刀点)
N5 G30G91X0Y0
N7 T1 (D6) (φ6mm立铣刀)
N9 M6
N11 G43G90G0Z200.H01
N13 G00X0Y0
N15 S2000M3
N17 M8
N19 G10L2P0Z.100 (操作坐标系,设置第一层铣削深度0.1mm)
N21 M98 P1000 (调用子程序O1000)
N23 G10L2P0Z.000
N25 M98 P1000
N27 G00Z150.000
N29 M09
N31 M5
N33 G30G91Z0
N35 G30G91X0Y0
N37 T2(D3) (φ3mm立铣刀)
N39 M6
N41 G43G90G0Z200.H02
N43 S3000M3
N45 M8
N47 G10L2P0Z2.600 (操作坐标系,设置第一层铣削深度2.6mm)
N49 M98 P2000 (调用子程序O2000)
N51 G10L2P0Z2.400 (设置第二层铣削深度2.4mm,每层深度0.2mm)
N53 M98 P2000 (调用子程序O2000)
N55 G10L2P0Z2.200 (以下以此类推……)
N57 M98 P2000
.....
```

(其余程序省略,有兴趣的读者可向本刊索要参考)

该类喷嘴环在我中心环控类产品中很常见,也非常典型,具有代表性,已经广泛地应用到其他喷嘴环的工艺编制和数控加工中。另外,编程时数控主子程序调用有效地节省了生产准备时间,通过刀具半径补偿,机床操作者可以灵活地进行修改和调节轮廓尺寸,可以广泛地推广应用到其他各种类型的数控加工编程中去。**MW**

(收稿日期:20120812)