

基于宏程序的倾斜圆柱凸台加工工艺改进

杨显君, 聂有为, 滕寿蔚, 刘峻材, 陈义

航空工业成都凯天电子股份有限公司 四川成都 610000

摘要: 基于宏程序编程, 通过由线成面分层拟合的加工方式, 改进倾斜圆柱凸台的加工工艺, 再结合刀具的改进, 实现高效率、高质量以及低成本的加工。

关键词: 宏程序; 变量; 椭圆; 拟合; 圆柱

1 序言

宏程序因其变量之间可以运算, 所以可用控制流向的语句去改变程序的方向, 程序简洁, 逻辑严密, 具有模块化的资质和条件, 在有规律的复杂轮廓加工中应用广泛。本文介绍运用宏程序编程, 结合刀具的改进, 巧妙解决圆柱铣削清根难题的方法。

2 零件结构及加工难点

零件图样如图1所示, 材料为不锈钢。零件结构为圆柱管与底板斜相交的组合物, 底板尺寸 $11\text{mm} \times 8\text{mm} \times 2\text{mm}$, 圆柱外圆尺寸 $\phi 7_{-0.035}^{-0.013}\text{mm}$, 内孔尺寸 $\phi (6 \pm 0.1)\text{mm}$ 。圆柱管轴线与底板夹角为 $60^\circ \pm 0.1^\circ$, 表面粗糙度值 $Ra=1.6\mu\text{m}$, 圆柱与平

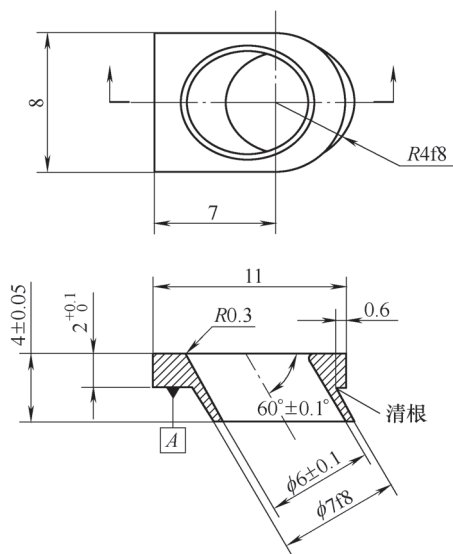


图1 零件图样

面相交清根 $R \leq 0.2\text{mm}$ 。零件采用三轴或五轴机床拟合加工后都会在圆柱与平面相交处形成残料, 如图2所示。

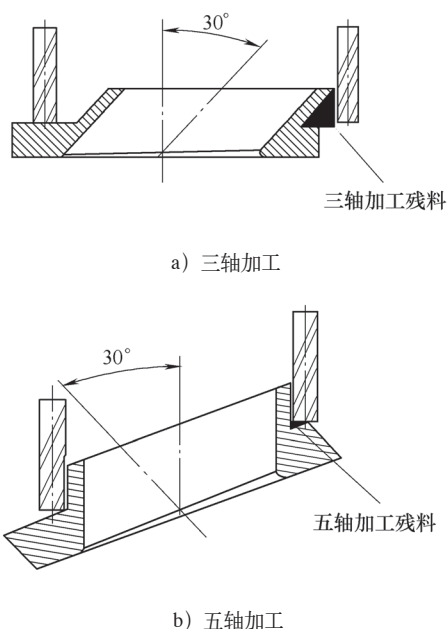


图2 拟合加工后形成的残料

由三轴加工中心加工后, 残料部分通过电火花加工去除, 然后钳工打磨表面达到要求。由于电火花加工不能完好地与已经加工好的 $\phi 7_{-0.035}^{-0.013}\text{mm}$ 外圆尺寸相接, 钳工打磨空间小, 圆度误差大, 圆柱与平面相交处 R 不规则, 所以无法保证尺寸要求, 合格率只有60%。该方案合格率较低。

由五轴联动的方式加工, 需要先用立铣刀或者球刀铣削 $\phi 7_{-0.035}^{-0.013}\text{mm}$ 大部分形状, 再用直径0.4mm的球刀对圆柱与平面相交处进行精加工, 保证圆柱与

平面相交处 $R \leq 0.2\text{mm}$ 。该方案能在一次装夹中完成所有形状的加工，但是由于精加工时刀具直径小，刚性差，切削速度低，进给量小，并且拟合分层多，所以生产效率低，且刀具成本高。

3 轮廓拟合思路分析

综上所述可见，三轴或五轴加工均存在缺陷，无法满足生产需要。本文介绍一种高效率、高质量且低成本的简便方法，即由线成面分层拟合的加工方式。要保证圆柱外圆尺寸 $\phi 7_{-0.013}^{-0.035}\text{mm}$ ，圆柱与平面相交处 $R \leq 0.2\text{mm}$ ，并且外圆直径和平面处完美相接，最好的办法就是在一次加工中完成零件的外形轮廓。由线成面分层拟合的方式可以有效实现一次加工。

分层拟合原理如图3所示，圆柱面是由无数个直径相同且同轴的圆周线层叠组成，圆心点层叠组成圆柱面的轴线 a ，圆柱垂直于 a 轴的截面形状是圆。当用一个与圆柱轴线不垂直且不平行的面去截圆柱时，圆柱截面为椭圆。 b 轴为垂直于零件底板的轴线，圆柱垂直于 b 轴的截面形状是椭圆。

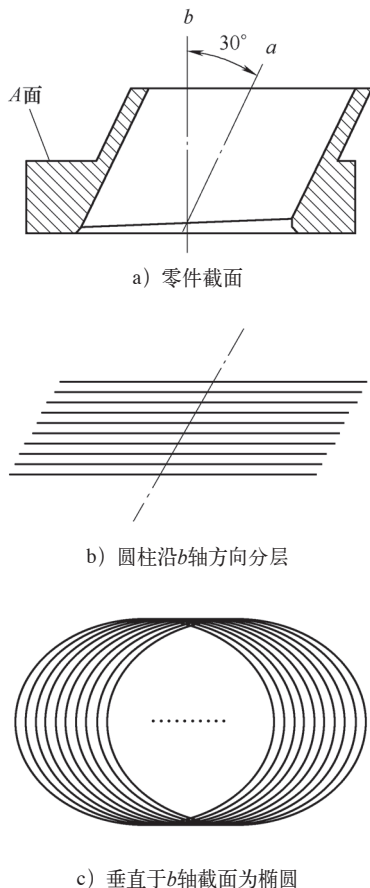


图3 圆柱分层拟合原理

椭圆截面的中心按 30° 方向规律性偏移，使无数个椭圆截面层叠形成圆柱面。由于刀具轴线永远垂直于底板上平面（ A 面），只要拟合无数个椭圆层叠，即可加工出符合尺寸要求的圆柱，并实现圆柱与平面相交处 R 完美相接。

4 加工改进

4.1 宏程序编制

由于截面形状为椭圆，层叠角度有规律，因此选用宏程序进行编程，程序简洁，逻辑严密，通用性极强，具有极好的易读性和可修改性。圆柱垂直于底板方向的形状为椭圆，采用CAD软件进行截面分析（见图4），得到椭圆的长半轴尺寸为 4.041mm ，短半轴尺寸为 3.5mm 。

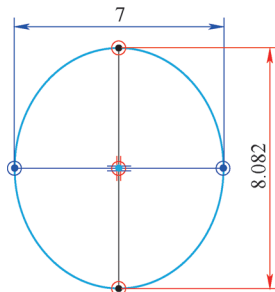


图4 截面分析

椭圆截面中心位置的 X 坐标随 Z 方向发生深度偏移，偏移的三角函数关系为 $\Delta X = \Delta Z \tan 30^\circ$ 。椭圆运用参数方程进行编程，使用细小的直线去拟合轮廓。为了满足圆柱尺寸精度，需要尽量缩短拟合线段的长度，因此应选用较小的步距角增量，此零件加工选用的步距角为 0.5° 。由不同位置的椭圆截面最终拟合成圆柱面。

零件加工程序（以海德汉系统为例）如下。

```
1 BEGIN PGM A1 MM
2 BLK FROM 0.1 Z X-10 Y-10 Z-10
3 BLK FROM 0.2 X10 Y10 Z+0
4 TOLL CALL 1 Z S6000
5 L X+0 Y+0 FMAX M3
6 L Z+50 FMAX M8
7 FN 0: Q1=+0.05
8 FN 0: Q2=+1.96
9 LBL 1
10 Q3=-Q1+2
```

```

11 Q4=-Q1*TAN30
12 CYCL DEF 7.0 DATUM SHIFT
13 CYCL DEF 7.1 X+Q4
14 L X+20 Y+2 FMAX
15 L Z+Q3 FMAX
16 L Z-Q1 F800
17 FN 0; Q7=-0.1
18 FN 0; Q8=+360.01
19 LBL 3
20 Q5=4.041*COS Q7
21 Q6=-3.5*SIN Q7
22 L X+Q5 Y+Q6 RL
23 Q7=Q7+0.5
24 FN12; IF +Q7 LT +Q8 GOTO LBL3
25 L Y-10
26 L Z+50 R0 FMAX
27 Q1=Q1+0.05
28 CYCL DEF 7.0 DATUM SHIFT
29 CYCL DEF 7.1 X+0
30 FN12; IF +Q1 LT +Q2 GOTO LBL1
31 L Z+50 FMAX M5 M9
32 M30
33 END PGM A1 MM

```

4.2 刀具选择

由于零件倾角的影响，零件加工时刀具刀尖角度 $<60^\circ$ 才能避免干涉，因此选择刀尖角 55° 、刀尖圆弧 $R0.2\text{mm}$ 的燕尾槽刀具（见图5）进行加工。加工时采用较小的吃刀量、较大的进给量，以实现零件的高效加工。



图5 燕尾槽刀具

4.3 应用效果

采用改进后的加工方法，零件质量完全满足技术要求，合格率达100%。零件成品如图6所示。

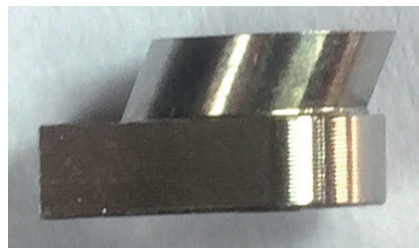


图6 零件成品

5 结束语

实际生产表明，使用宏程序编程，实现由线成面分层拟合、一次性完成零件的加工，完全满足技术要求。此加工方法简化了编程内容，提高了生产效率，大大缩短了加工周期，降低了生产成本，为类似零件的加工提供了可借鉴的经验。

参考文献：

- [1] 沈建峰. 数控铣工/加工中心操作工（高级）[M]. 北京：机械工业出版社，2007.
- [2] 陈海舟. 数控铣削加工宏程序[M]. 北京：机械工业出版社，2007.
- [3] 陆建中. 金属切削原理与刀具[M]. 北京：机械工业出版社，2011.
- [4] 陈明. 机械制造工艺学[M]. 北京：机械工业出版社，2012.

MW 20210715

2021年7月工业生产总体保持恢复态势

2021年7月份，工业生产总体延续恢复态势，高技术制造业继续高速增长，消费品行业平稳恢复，出口保持较快增长。

一是工业生产总体高于疫情前水平。7月份，全国规模以上工业增加值同比增长6.4%。

二是高技术制造业带动作用明显。7月份，高技术制造业增加值同比增长15.6%。其中，航空航天器制造业增长27.2%。

三是装备制造业稳定增长。7月份，装备制造业增加值同比增长6.4%，增长态势保持稳定。

四是消费品行业平稳恢复。7月份，消费品制造业增加值同比增长9.1%，延续恢复态势。

五是工业品出口保持两位数增长。7月份，规模以上工业出口交货值同比增长11.0%，继续保持两位数增长态势。（来源：国家统计局网站）