复杂异形零件的数控加工

杨卫军，崔雅琴，吉绍勇
河北燕兴机械有限公司　河北张家口　075041

摘要：通过工程案例介绍了异形零件的结构特点和数控加工思路，以及该案例在四轴加工中心上的切削过程和编程要点，适用于单件和小批量异形零件的常规加工，具有一定的实用性。

关键词：异形零件；数控加工；刀具；编程

1　序言

异形零件如果生产批量大，那么可以采用铸件、锻件或粉末冶金等成形方法，这样可以降低零件的制造成本，但是前期需投入大量的模具费用，且模具试制周期较长；如果生产批量小，或者产品处于开发过程中，不可能投入昂贵的模具进行成形加工，也没有时间等待，若使用3D增材打印方法往往满足不了零件的机械性能要求，因此，实用可行的还是采用机械加工去除材料的方法。以往多采用普通设备加工，不仅工序多，需要的夹具多，而且对操作人员的技能要求也高，结果导致产品开发周期漫长，开发成本高。

随着数控设备的发展和普及，可以充分发挥数控设备的优势，快速加工出复杂的异形零件。

2　异形零件加工工艺分析

图1所示异形联接体零件为某产品击发系统的关键零件，材料为2A12-T4铝合金。零件形状复杂，编程及加工难度大。

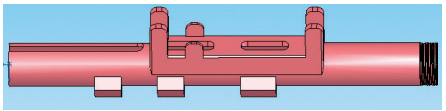


图1　异形联接体零件

该零件直接由铝棒加工成形，材料去除率高，工件容易产生变形。加工难点在于如何保证圆柱面和凸台间的圆弧面的圆柱度以及满足表面粗糙度要求。

工艺过程包括车、铣、去工艺头、车螺纹和铣槽。首先车异形件毛坯，然后在四轴立式加工中心上，采用一夹一顶的装夹方式，分粗铣、半精铣和精铣三步完成零件主要外形的加工，之后将工艺头铣去，数控车床双顶完成螺纹加工，最后铣槽，完成工件的加工。

3　车异形件毛坯

图2为异形件车序示意图，右端外圆阶梯台为工艺夹头，内孔加工至成品尺寸，其他部分单边留加工余量0.5mm。

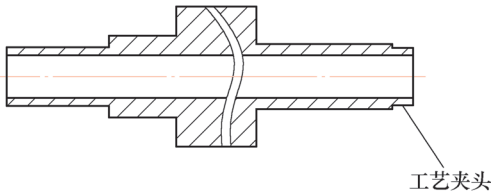


图2　异形件车序示意

4　铣异形件成形

4.1　装夹并确定工件零点

图3为工件零点坐标图。工件装在第四轴上，右端用自定心卡盘夹紧，左端通过堵头、尾座用顶尖顶紧，用百分表分别打左右端小圆，通过调整或修整自定心卡盘，将百分表针跳动控制在0.1mm之内，最后把顶尖锁紧。

4.2　选择刀具并确定刀具切削参数

刀具选择说明如下。

1）粗铣选用大直径刀具。

2）精铣选用立铣刀。

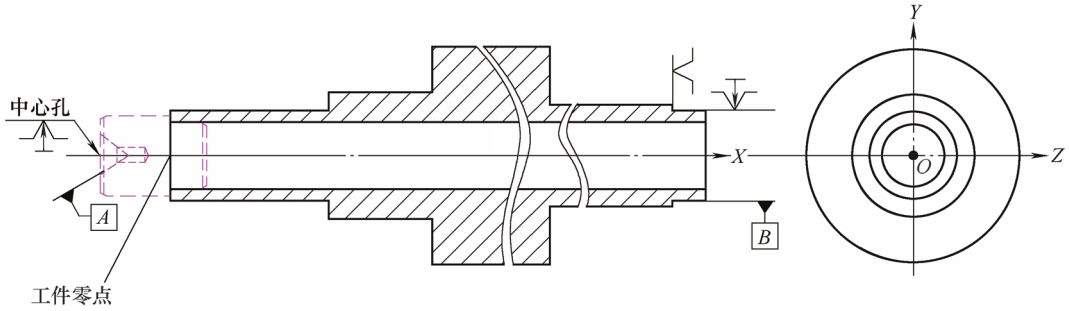


图3　工件零点坐标

3）ϕ6mm的硬质合金刀主要用于铣长槽R3.5mm。

4）刀具直径主要从工件的尺寸限制、金属去除率和刀具价格3个方面综合考虑选择。

5）粗铣时切削参数遵循“浅切深、大切宽和多切快跑”的原则。

6）精铣时切削参数的选择主要依据工件的表面粗糙度要求，一般来说，进给速度要低，吃刀量要大。

7）刀具的长度规格遵循“一寸长、一寸短”的相对论，刀具越短，刚性越高，切削越稳定。

根据以上原则，所选用的刀具规格及切削参数见表1。

表1　刀具规格及切削参数

序号	刀具规格	刀具号	加工内容	加工余量/mm	转速n/(r/min)	进给速度v_f/(mm/min)	进给量f/(mm/层)
1	ϕ16mm方肩铣刀	T1	粗铣外形	0.5	2500	1500	0.25
2	ϕ8mm合金铣刀	T2	半精铣外形	0.25	3000	1000	0.5
3	ϕ8mm合金铣刀	T3	精铣外形	0	3000	500	到底层
4	ϕ6mm合金铣刀	T4	铣R角	—	3000	500	到底层

4.3　UG8.0编程前的准备

（1）创建4个父节点　分别为创建程序（program）、创建刀具（tool）、创建几何体（geometry）和创建方法（method）。

（2）创建工序（操作）　①3轴2联动平面铣。②3轴2联动型腔铣。③3轴2联动固定轴曲面轮廓铣。④3～5轴联动可变轴曲面轮廓铣（多轴铣）。

（3）创建几何体（数模）策略　①依据平面图创建（调用）数模，注意平面图中双加或双减的尺寸，一般要修改数模到图样中差实际尺寸，这样便于操作者调整刀补值。②为便于刀路简洁，有些断续面需修改数模变成完整面。

4.4　粗铣外形

（1）创建工件几何零点（见图4）　一定要注意安全距离设定值，防止撞刀；机床坐标系设定一定要准确。

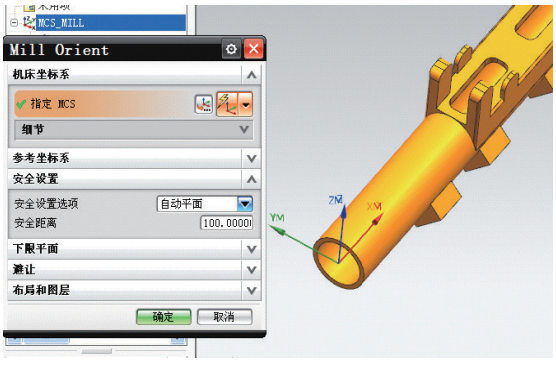
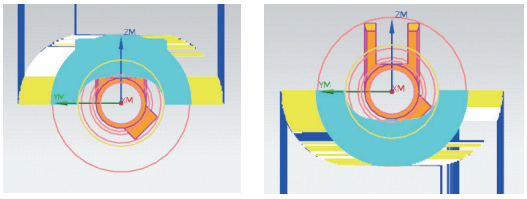


图4　创建工件几何零点

（2）粗铣型腔上、下部分（见图5）　首先选择“型腔铣”，该功能包含型腔铣的主要功能，一般用于粗加工；其次在型腔铣展开列表中选择“切削深度”功能，将切削深度“自动”改为“手动”，切削深度改为毛坯最大直径的1/2值。

（3）粗铣侧面部分（型腔铣上、下部分的剩余

部分）（见图6） 面铣首先要指定切削区域，然后给出毛坯距离、每刀切削深度和最终底面余量。



a）粗铣型腔上部分 b）粗铣型腔下部分

图5 粗铣型腔上、下部分

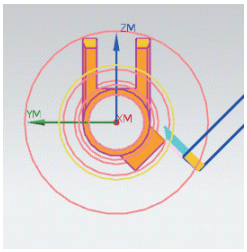


图6 粗铣侧面部分

4.5 半精铣外形

（1）固定轴铣基本“六大刀路” ①面铣：表面、底面铣。②平面铣：内、外侧面铣。③型腔铣：内外腔的斜面铣，一般用于粗加工。④剩余铣：型腔铣后的半精加工，去除边角等余量。⑤深度轮廓铣：侧面等高铣，一般用于半精或精加工。⑥固定轴曲面轮廓铣：曲面的精铣。

（2）半精铣上、下部分和槽 半精铣时，留量0.25mm。非切削运动中进刀采用“沿形状斜线进刀，斜度5° ”的方法。刀具为ϕ8mm粗铣刀，进给量t=0.5mm/层，进给速度v_f=1000mm/min，转速n=3000r/min。半精铣上、下部分选择“剩余铣”功能；半精铣槽（见图7）选择“平面铣”功能。

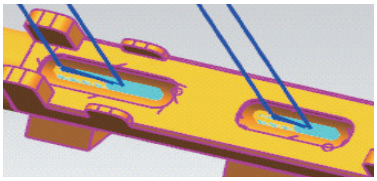


图7 半精铣槽

4.6 精铣外形

（1）精铣各部台阶侧面（见图8） 选择多轴铣（可变轴轮廓铣）功能。关键选项如下：①几何体为“各加工侧面”。②驱动方法为“流线”。③投影矢量为“朝向驱动体”。④刀具为“ϕ8mm立铣刀”。⑤刀轴为“远离直线”。

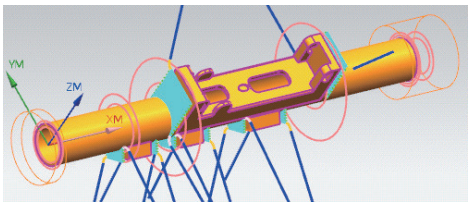


图8 精铣各部台阶侧面

为便于编程，图8中的两耳部断面被补平。投影矢量和刀轴有多种组合，上述为其中的一种，也表现出了四轴加工中心的加工特性。这样能很好地加工处理凸台的侧面和与圆弧的结合部。

（2）精铣各部圆弧面 同样选择多轴铣（可变轴轮廓铣）功能。①创建检查几何体（见图9）。一是为了防止刀具撞到卡盘和尾座；二是为了防止刀具铣伤各台阶的侧面。② 创建曲面驱动方法几何体。创建曲面及刀路如图10所示，曲面选择创建的圆柱外表面，切削方向选择箭头的水平方向。圆弧面由立铣刀底面包络而成，步距数越大，圆的圆度越高，表面粗糙度值越大；刀具直径越大，所需的布距数越少。投影矢量与刀轴的选择有多种，这里投影矢量为“刀轴”，刀轴为“远离直线”。

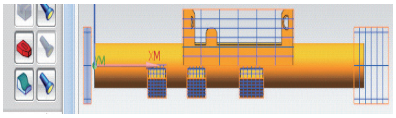


图9 创建检查几何体

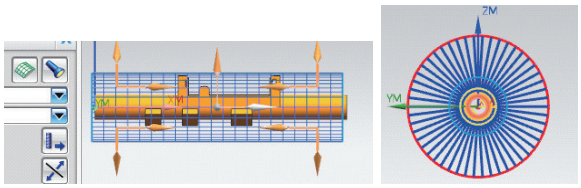


图10 创建曲面及刀路

（3）精铣各部平面（见图11） 选择面铣功能。刀路方式有多种，这里选择“往复”，其他面类似，但需注意刀轴的方向，一定要选择“垂直于切削表面”或者通过选择“矢量”确定刀轴方向。

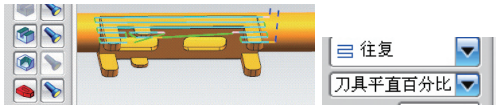


图11 精铣各部平面

4.7 精铣R2mm面

精铣R2mm面（见图12）选择固定轴曲面轮廓铣功能。需选择R2mm曲面，驱动方式选择“区域铣削”，切削模式选择“往复”，布距选择“恒定”，最大距离给定0.1mm，刀轴方向选择“指定矢量”。

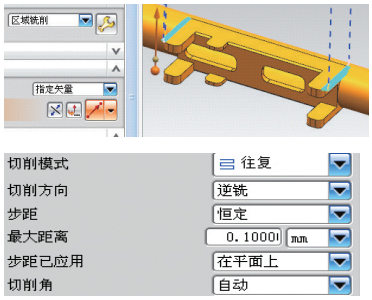


图12 精铣R2mm面

4.8 精铣有尺寸公差要求的面

图13为精铣有尺寸公差要求的面。一般一次不能达到尺寸要求，需要多次加工。需单独创建程序，选择刀具“补偿功能”，便于操作人员现场调整加工尺寸。

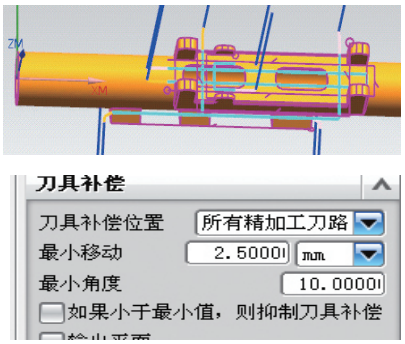
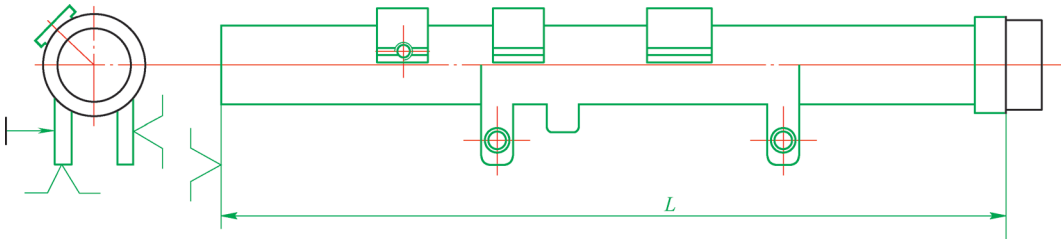


图13 精铣有尺寸公差要求的面

5 铣去工艺头

图14为铣工艺头，选择“等高铣”功能。为便于编程，需将工艺头改为方形，选择“混合铣”“深度优先”，转移类型选择“直接”，切削参数：转速$n=3000$r/min，进给速度$v_f=1500$mm/min，进给量$t=0.25$mm/层。这样能实现“轻切快跑”的加工理念，以防止工件变形。



a）图样

b）铣削程序选项及加工示意

图14 铣工艺头

6 车螺纹

图15为车螺纹。自制专用堵头，数控车床双顶 装夹工件。

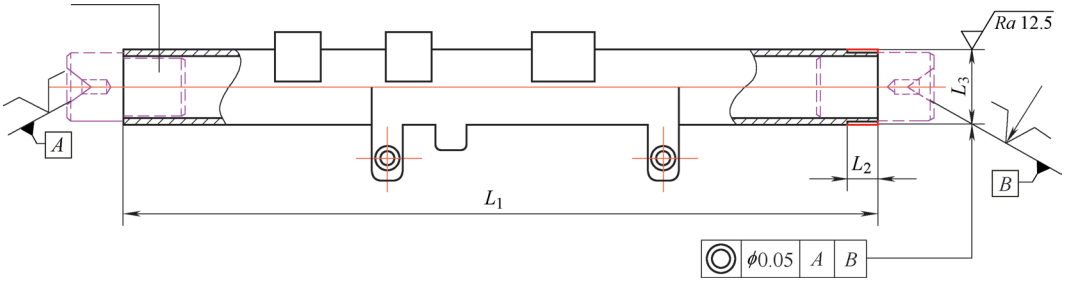


图15　车螺纹示意

7　铣槽

图16为铣槽。铣圆弧表面槽需创建平面并将槽轮廓投影到平面，选择平面铣，采用“轻切快跑”的方式，防止工件加工变形。

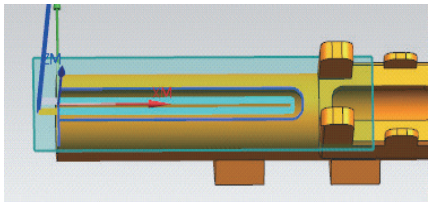


图16　铣槽

8　结束语

上述加工案例若在普通设备上进行，则需要制作很多工装夹具，要花费几周时间，圆柱和凸台间的圆弧面加工很难实现。而数控加工的制造时间仅需14h左右，且工件质量完全满足图样要求。

参考文献：

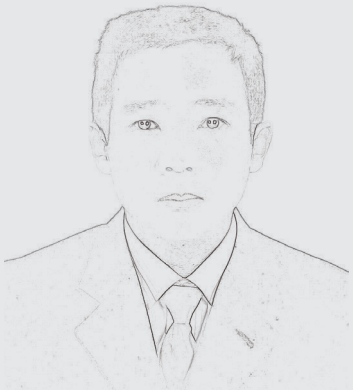
[1] 龚勉，赵波，浦维达. UG CAD实用教程[M]. 北京：清华大学出版社，2002.

[2] 盛善权. 机械制造基础[M]. 北京：高等教育出版社，1993.

[3] 许先绪，崔永茂. 金属切削刀具[M]. 上海：上海科学技术文献出版社，1985.

MW 20210430

专家点评



复杂异形零件的加工没有捷径，需要针对加工区域的结构特征，一步一步地去分解和突破。不仅需要机械加工的基础知识，还需要掌握计算机编程和建模技巧，这样才能解决零件加工中的各种难题。

文章图文清晰，逻辑严谨，通过异形件的数控加工过程和编程要点，详细介绍了多轴铣的加工步骤和刀具路径，突出“分区域加工”和“轻切快跑”的加工理念，具有一定的创新和技巧。

欢迎关注微信公众号：机工刀具世界

“机工刀具世界”定位于指导制造企业一线技术员工如何合理选择和使用数控刀具，介绍数控刀具使用技巧。关注刀具行业最新技术进展，为广大制造企业推荐先进、实用的数控刀具产品。

扫描二维码即可关注！