

基于 PowerMILL 的中空球体零件五轴加工技术

李体仁, 孙宇佳

陕西科技大学

摘要: 基于中空球体零件的结构特点,分析其加工工艺及加工难点,通过 PowerMILL 软件进行编程解决了内球面的刀位轨迹设计难等问题,提出一种提高五轴编程安全性的方法。

关键词: 中空球体;夹具设计;PowerMILL 五轴编程;防碰撞

中图分类号: TG543;TH161

文献标志码: A

Technology of Five-Axis Machining Based on PowerMILL Football

Li Tiren, Sun Yujia

Abstract: This paper analyzes the structural characteristics of the hollow football, discusses its process and analyzes its processing difficulties. The programming is completed by PowerMILL software to solve the cutter location path within the sphere of difficult design problem, and puts forward a method to improve the safety of five-axis programming.

Keywords: hollow soccer; fixture design; PowerMILL five-axis programming; anti-collision

1 引言

铝合金中空球体零件的球体表面按规律分布开口及刻线,中部支撑部分由 5 个自由曲面构成,底部为圆台状(见图 1)。零件最大高度 96mm,最大直径

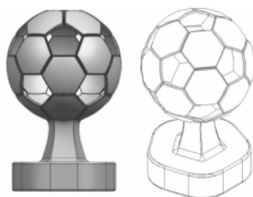


图 1 空心球体零件

60mm,球体壁厚 2mm。本文主要针对该零件进行工艺设计。

2 零件工艺分析

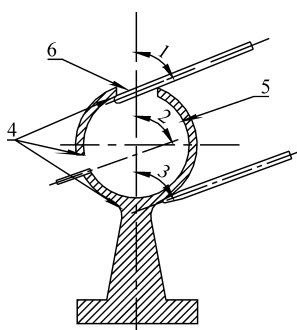
零件结构如图 2 所示,分析可知:加工要求形状准确、尺寸精确、各曲面间光滑过渡自然,表面粗糙度小。负角面是指零件的加工面与工作台的夹角小于 90°的面,负角是以铅垂线为参考,在内球面、球面开口、外球面与支撑结合处有较大的负角,需采用五轴机床才能完成加工。由于内球面为大负角小开口深型腔结构,刀轴摆动范围大,可调整范围小,刀具直径小刚性差,所以刀位轨迹的设计是加工难点。

收稿日期: 2016 年 7 月

参考文献

- [1] 张厚江,陈五一,陈鼎昌,等. 碳纤维复合材料(CFRP)钻孔出口缺陷的研究[J]. 机械工程学报,2004,40(7):150-155.
 - [2] Devi Kalla, Jamal Sheikh-Ahmad, Janet Twomeya. Prediction of cutting forces in helical end milling fiber reinforced [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2010(50):882-891.
 - [3] 张选龙. 碳纤维复合材料/钛合金叠层装配制孔技术研究[D]. 大连:大连理工大学,2010.
 - [4] Yigit Karpat, Onur Bahtiyar, Burak Deger. Mechanistic force modeling for milling of unidirectional carbon fiber reinforced polymer laminates [J]. International Journal of Machine Tools & Manufacture, 2012,56:79-93.
 - [5] 金晓波,康万军,曹军,等. 碳纤维复合材料/钛合金叠层板钻孔有限元仿真研究[J]. 工具技术,2015(1):24-28.
 - [6] 王巍. CFRP 加工工具研制及加工工艺研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
 - [7] Cong W L, Pei Z J, Deines T W, et al. Rotary ultrasonic machining of CFRP/Ti stacks using variable feedrate[J]. Composites Part B: Engineering, 2013,52:303-310.
 - [8] 王明海,孙国强. 刀具横刃对复合材料制孔影响的仿真研究[J]. 机械设计与制造,2013(6):237-243.
 - [9] 李凤全. 碳纤维复合材料制孔缺陷及对策的试验研究[D]. 大连:大连理工大学,2008.
- 第一作者:张云凯,沈阳航空航天大学创新创业学院,110136 沈阳市
- First Author: Zhang Yunkai, Shenyang Aerospace University Innovation College, Flight Vehicle Manufacturing Engineering, Shenyang 110136, China

球面开口处刀轴摆动角度超过 90° , 工作台与主轴容易发生干涉, 应采取相应的防碰撞措施。为了使工序集中并且保证五轴加工的安全, 需要设计专用夹具, 通过一次装夹完成零件加工。加工顺序为: 先加工球体外侧以及内球面的排屑孔, 然后加工内球面, 最后加工开口和刻线。在保证加工效率和质量的情况下, 选用的刀具见表 1, 制定的零件加工工序及工艺参数见表 2。



1. 2. 3. 负角 4. 负角面 5. 内球面 6. 小开口

图 2 零件结构

表 1 刀具列表

序号	刀具名称	用途	刀具半径	备注
1	$\phi 1$ 端铣刀	开口加工	0.5	硬质合金
2	$\phi 10$ 端铣刀	粗加工	5	
3	$\phi 4$ 锥度(3°)球头铣刀	半精、精加工	1	
4	$\phi 1$ 球头刀	刻线加工	0.5	
5	$\phi 6$ 球头刀	粗、半精、精加工	3	

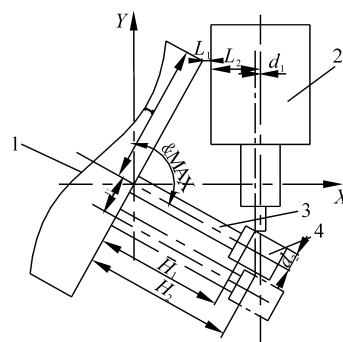
表 2 加工工序及工艺参数

工 序 号	加工 区域	加工 策略	主轴 转速	切削 进给率	下切 进给率
1	轮廓	三维区域清除	12000	2200	1200
2	球体内部		15000	2500	250
3	轮廓		12000	2200	1200
4	轮廓		12000	2200	1200
5	外表面	参数螺旋精加工	15000	2500	250
6	外表面		15000	2500	250
7	球体内部	管道区域清除	15000	2500	250
8	球体内部	管道螺旋精加工	15000	2500	250
9	球体内部	点投影精加工	15000	2500	250
10	开口	SWARF 精加工	15000	2500	250
11	刻线	参考线精加工	15000	2500	250

工序号	下切步距	行距	加工公差	加工余量	加工方式	刀具
1	0.5	7	0.01	0.4	三轴	φ10
2	0.4	5	0.01	0.4	三轴	φ10
3	0.5	7	0.01	0.4	3 + 2	φ10
4	0.5	7	0.01	0.4	3 + 2	φ10
5		0.2	0.01	0.05	五轴	φ4
6		0.05	0.005	0	五轴	φ4
7	0.3	2	0.1	0.1	五轴	φ6
8	0.1	5	0.1	0	五轴	φ6
9	0.12		0.01	0	五轴	φ6
10	0.1		0.01	0	五轴	φ1 端铣刀
11	0.1		0.005	0	五轴	φ1 球头刀

3 夹具设计

根据现有条件, 选择双转台结构的 DMU 65 mono BLOCK 五轴高速加工中心进行加工。五轴加工时, A、C 轴都要旋转, 在图 2 所示的第 2 处负角, A 轴旋转角度大于 90° , 转台和主轴容易发生碰撞, 所以需抬升工件的装夹位置, 通过设计专用夹具来实现。夹具安装在工作台中心, 充分应用多轴机床的行程, 同时保证 A 转台在 $\geq 90^\circ$ 位置时(见图 3) 主轴和转台保持一定的安全间隙。由此推导出夹具的安全设计高度计算公式。



1. A 转台 2. 主轴 3. 夹具 4. 工件

图 3 装夹示意图

零件装夹示意图见图 3, L_1 代表最小安全间隙, L_2 代表主轴单边宽度, d_1 代表刀具半径, d_2 代表工件半径, α_{MAX} 代表最大倒扣角, H_1 代表夹具最小理论安全高度, H_2 代表夹具实际最小安全高度, L 代表转台的半径, U 代表安装偏差。

经过分析和计算可得

$$H_1 = \frac{L \cos(\pi - \alpha_{MAX}) + L_1 + L_2 - d_1}{\cos(\alpha_{MAX} - \frac{\pi}{2})}$$

实际安装过程中, 由于夹具与工作台中心有偏差, 为了保证安全加工, 对安装误差进行补偿, 则夹具实际最小安全高度为

$$H_2 = \frac{U \sin(\alpha_{MAX} - \frac{\pi}{2}) + L \cos(\pi - \alpha_{MAX}) + L_1 + L_2 - d_1}{\cos(\alpha_{MAX} - \frac{\pi}{2})}$$

在加工过程中, 工件装夹高度应大于 H_2 , 以保证加工安全。

设计夹具如图 4a 所示, 为了便于装夹和拆卸工件, 设计了如图 4b 所示的连接板。夹具上的 $4 \times \phi 10$ 通孔用于 M10 的螺栓锁紧连接板, 连接板上的 $3 \times \phi 10$ 的沉头通孔用于 M10 的螺栓锁紧工件, 板上的凸台用于防止加工时刀具和板体发生碰撞。

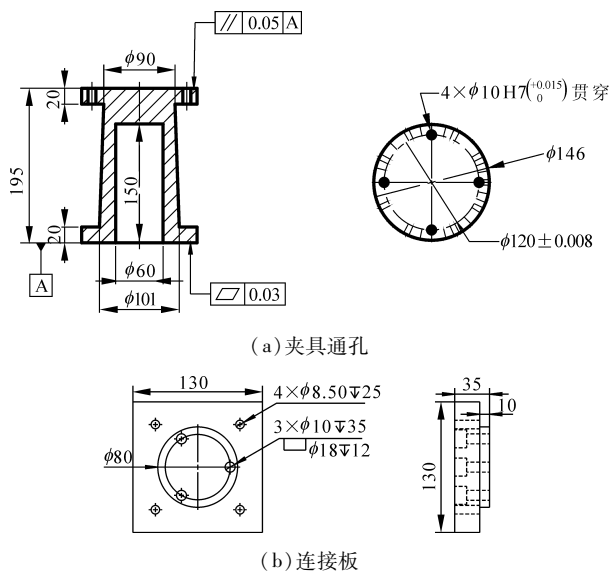
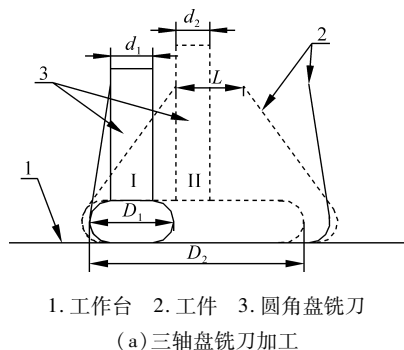


图4 夹具设计

4 刀位轨迹设计

PowerMILL 的编程流程为:模型输入、毛坯定义、刀具定义、进给率设置、快进高度设置、加工开始点设置、刀具路径的产生、编辑、仿真、NC 程序的生成和项目保存。按照表 2 的加工工序和工艺参数,设计零件各区域的刀位轨迹。

负角零件的加工方式主要有三轴盘铣刀加工和五轴定位加工。盘铣刀是一种切削刃直径 D 大于刀杆直径 d 的刀具,为了保证刀具的刚性,切削刃与刀杆的直径比值 D/d 较小,随着负角的增大,需要将切削刃直径 D_1 增大到 D_2 ,这会降低刀具刚度,而且对于开口较小的负角零件,因切削刃直径 D_2 大于开口宽度 L ,零件无法加工,所以盘铣刀只能用于大开口小负角零件的加工(见图 5a)。五轴定位加工通过多次重新定位完成加工,当负角零件开口较小时,刀轴加工范围有限,需要多次调整加工方向,而且刀具直径较小,所以会造成编程和加工效率降低,不适合大负角零件的加工(见图 5b),虚线表示加工方向调整后的刀轴位置。



(a) 三轴盘铣刀加工

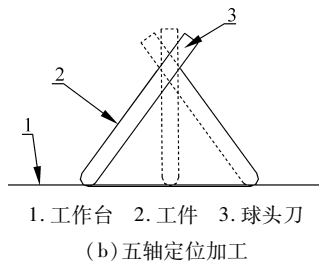


图5 负角零件加工示意图

由于内球面为大负角、小开口深型腔结构,所以采用上述两种方式都无法有效完成加工。经过分析,设计了一种加工方法:通过在 CAD 软件中构建辅助面,将内球面构建成只保留球顶开口的空心球体(见图 6a),最后运用 PowerMILL 软件提供的管道加工策略完成内球面的粗、精加工。

管道加工策略属于参数化设置,根据管道截面的形状,对刀位轨迹的计算分为两种:第一种是只需设置中心参考线,根据参考线的变化截取管道,完成刀位轨迹的计算,适合于截面变化规律的管道(见图 6b 左);第二种是需要设置中心参考线和上下限坐标系,根据上、下限坐标系确定加工范围,用平行等间隔的方式截取管道,此时中心参考线作为刀轴的倾斜曲线,从而完成刀位轨迹的计算,适用于截面变化不规律的管道(见图 6b 右)。

以上两种加工方式中,中心参考线的设置不需要放置在管道轮廓的正中央,也不需要精确映射管道弯曲轮廓,但必须要位于计算的刀具轨迹范围内。计算刀位轨迹时,刀轴矢量会根据管道截面的变化自动调整刀轴方向,采用三轴、五轴定位、五轴联动的综合加工方式完成加工。内球面的截面由小变大再变小,采用第二种方式设置的中心参考线和上、下限坐标如图 6a 所示。由于中心参考线作为刀轴的倾斜曲线,所以应尽可能位于球体中心线上,长度应超过球体直径。为便于刀位轨迹的计算,可通过多次调整中心线长度,根据刀位轨迹计算结果获得最佳的中心参考线。上线坐标系应位于球面顶点处,确定刀位轨迹的起点,由于球头底部为封闭结构,所以下线坐标应高出球面底部 1~2mm,防止计算刀位轨迹时,由于软件的模型保护功能,无法产生刀位轨迹,由此确定刀位轨迹的终点。产生的加工残留可用精加工余量偏置的方法完成,即逐层减小余量的方式加工,避免刀具受力过大而折断。在“管道区域清除”和“管道螺旋精加工”中选择设置参考线和坐标,生成粗、精加工刀位轨迹。

为了提高加工的安全性,PowerMILL 软件提供

了防碰撞模块,可通过设置相应的防碰撞面解决加工过程中的碰撞问题,所以在五轴编程时,为了避免大负角下的加工发生碰撞,具体方法为:将工作台、夹具、主轴的 CAD 模型输入 PowerMILL 软件,在“部件余量”选项卡里进行碰撞设置,将工作台、夹具作为碰撞面直接参与五轴刀位轨迹的设计。等同于给机床安装了防碰撞系统,可以省去生成 NC 程序后,再将程序导入相应的机床模拟软件进行碰撞检查的步骤,提高编程效率。

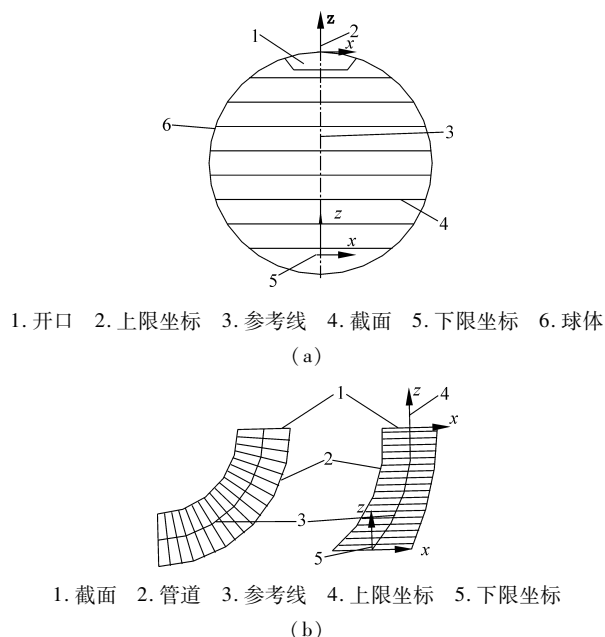


图6 管道加工

生成刀位轨迹后,用 DMU 65 mono BLOCK 五轴加工中心的专用后置处理将刀位轨迹转换成 NC 程序,并将生成的程序导入机床,加工结果见图 7。



图7 加工结果

5 结语

对球体内部采用管道加工策略完成编程并实现加工,该方法为大负角深型腔形结构的刀位轨迹设计提供了思路,降低了这类零件的编程难度,提高了编程效率。通过计算夹具安全高度以及为机床设计

防碰撞系统,提高了五轴加工的安全性。

参考文献

- [1] 郭雄华,朱克忆. PowerMILL 在某车型后底板前构件检具加工中的应用与研究[J]. 制造业自动化,2010,24(7): 107-120.
- [2] 林新贵,钟飞龙,易根苗. 基于 PowerMILL 的龙凤铜碗五轴加工技术[J]. 机床与液压,2013,41(8): 34-36.
- [3] 邹仁平,李东福. PowerMILL 旋风铣技术在数控编程中的应用[J]. 工具技术,2015,49(11): 68-70.
- [4] 曹著名,王刘菲,朱熹,等. 基于 PowerMILL 的航空整体叶轮五轴数控研究[J]. 机械设计与制造,2015(8): 253-258.
- [5] 李默神,邹凤,赵连海. 基于 PowerMILL 的刀轴控制与刀具路径编辑实例分析[J]. 工具技术,2015,49(12): 74-79.
- [6] 肖爱武,翟万略,彭湘蓉. 基于 PowerMILL 刀具路径区域控制策略[J]. 制造技术与机床,2013(9): 153-155.

第一作者:李体仁,硕士,副教授,陕西科技大学机电工程学院,710021 西安市

First Author: Li Tiren, Master, Associate Professor, College of Mechanical & Electrical Engineering, Shanxi University of Science & Technology, Xi'an 710021, China

国机集团与广州大学签署战略合作框架协议

近日,广州大学与中国机械工业集团有限公司(简称“国机集团”)在广州市市长温国辉的见证下,签署战略合作框架协议。根据协议,双方将在广大建设“智能制造前沿技术联合研发中心”和“工业产品环境适应性国家重点实验室研发中心”,围绕智能制造、机器人前沿共性技术等研究领域展开校企合作,力争打造世界一流的智能制造创新平台。

据悉,在高水平大学建设目标下,广州大学按照坚持“三个面向”、深度实施与广州发展的“三个对接”的要求,正筹划组建“智能制造工程研究院”。本次合作是建设智能制造工程研究院的重要步骤。而国机集团则是国内机械工业规模最大、覆盖面最广、业务链最完善、研发能力最强的大型中央企业集团。

“这次合作有利于促进产、学、研的深度结合。”广州大学智能制造工程研究院(筹)负责人袁学锋介绍,签约之后,国机集团所属国机智能科技有限公司、中国电器科学研究院有限公司将分别作为与广大合作的牵头实施单位,双方将共同研发新一代智能机器人、智能制造系统顶层设计等前沿技术,并在工业产品可靠性设计、相关大数据应用等方面进行探索。而在工业产品智能应用方面,双方将重点开展智能家电、智能汽车的示范性应用。