花键形面数控铣削工艺方法改进

■ 航宇救生装备有限公司　（湖北襄阳　441003）　金　鑫　宋　毅　姜忠平　宋　珂

摘要：在加工中心A轴机床上加工某典型细长薄壁轴类零件的花键及耳片形面，通过对装卡工装、刀具选择及切削要素等方面的改进，从单件、小批试制到大批量生产，不仅保证了加工质量，还提高了加工效率。



躯干束缚控制机构是飞行员弹射救生系统中的重要组成部分，其主体构件花键轴（中型件）的各项设计工艺精度要求，以及生产过程质量、操作的稳定高效，一直是技术攻关重点。

1. 工艺要求特点

工件材料为LC4－CS，采用ϕ60mm×325mm棒料加工的方式，加工过程步骤多，材料及加工成本较高。加工花键$8^{-0.14}_{-0.20}$mm、120°±10′及表面粗糙度值R_a=1.6μm等高精度形面，工艺要求高；零件整体结构类型为薄壁型细长轴类（见图1），结构强度并不高。

2. 原工艺方案存在的问题

零件所有回转体的外圆内孔形面已由数控车削分粗、精方式加工到位，这里我们从车削后的零件毛坯状态与工艺要求的数铣

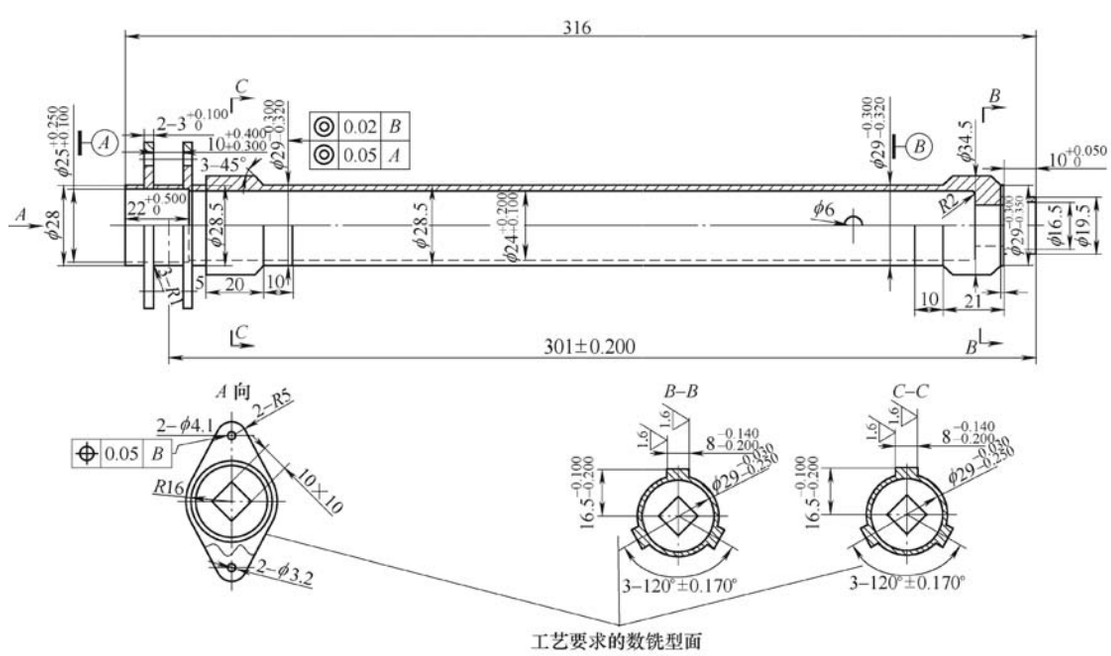
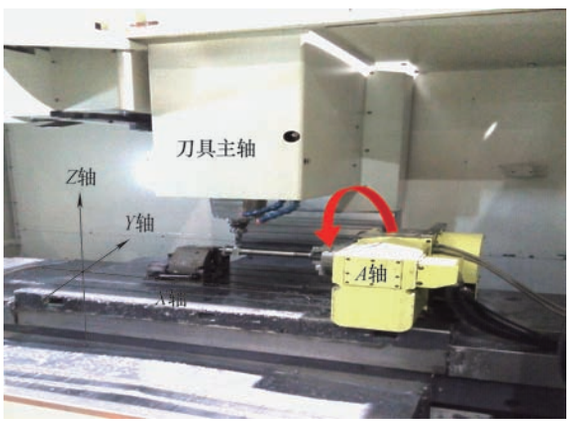
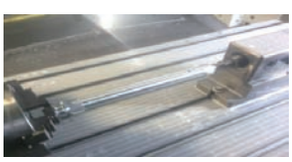


图　1

加工内容两方面考虑，加工过程分为两步：第一步，加工花键；第二步，加工耳片。第一步操作时，耳片贴紧*A*轴卡盘，为避免干涉，只能加工花键，图2所示为组合图，表示了铣削加工中心*A*轴运动原理及分步加工状态。



（a）立式*A*轴设备结构原理图



（b）加工花键



（c）加工耳片

图2　原方案组合图

近年来，随着精细化、精益化工作的开展，质量、成本目标提高，生产批量增大到二三百件，客户需求周期不断缩减，突显出花键轴的数铣加工操作现状已不合时宜，实际情况为：数控加工程序实际生产运行时间第一步为50min/件，第二步为25min/件；辅助找正耗时15min，共18个动作，生产周期较长。多年批产的情况表明，偶有质量状况发生，如夹持表面损伤，*A*轴旋转过切，长度方向（*X*轴向）过切、深度方向（*Z*轴向）过切等。

召集相关生产技术、操作人员进行了专题讨论，每个与会者从不同角度各抒己见，从人、机、料、法、环、测（5M1E）等方面归纳分析了花键轴数铣工序生产周期影响因素，找到具体原因，分别采取以下改进措施。

3. 针对装卡工装的改进

（1）夹具设计与制作：经查看工艺，对零件实物批量检测发现，零件端部内孔 $\phi 25^{+0.25}_{+0.10}$mm×22$^{+0.50}_{0}$mm为数车加工，尺寸一致，均为 ϕ25.18mm×22.10mm，确定可以利用它（见图1左端）。运用膨胀、自定心原理，选取合适锥度，利用该内孔台阶结构传递尾座顶持推力，从而膨胀、夹持 $\phi 25^{+0.25}_{+0.10}$mm内孔，设计了自定心心轴，图3所示为膨胀心轴实物分体图。



图3　膨胀心轴分体图

（2）操作过程与效果：改原有的卡顶装夹方式为双顶装夹方式，以零件两端 ϕ25mm、ϕ22mm内孔为定位基准，设计心轴工装完成工件的定位与夹持，卡盘一端利用心轴的锥度自定心原理，解决 ϕ25mm定位内孔带来的配合间隙问题。利用尾座一端 ϕ22mm内孔的台阶结构，传递顶尖推力，完成工件的定位和夹紧。装夹过程分为松尾座→取下已加工零件→清理安装面→放入下一工件→上紧尾座等5个步骤，生产加工中，没有零件从夹具中松脱而产生振动的现象，也没有发现其他质量隐患。首件调试找正时间仅为5～8min，批量加工时的零件装卸时间均少于2min，劳动强度大幅降低。

（3）优点：①简化了安装步骤，缩短了工件基准转换时的重复装夹和找正过程；零件加工所需的*A*轴起始角度，由原来的每件、每步都需要找正及输入数据，改进为首件一次找正、本批次全部受用。②定位心轴在装夹过程中清理方便、快捷；人为参与的实操环节大量减少，安全情况全面改善。③加工区域接近卡盘与尾座两端支撑点，所以零件中段完全由管体自主支撑，基本上可以满足加工强度要求。

4. 针对所选刀具走刀方式的改进

（1）刀路设计与制作：加工形面如图3所示，花键端面与耳片相邻面仅有5mm，花键侧面加工选用刀具直径≤10mm，不可切伤耳片，所以刀具刃尖只能伸出4.5mm，花键侧面精切由 ϕ8mm立铣刀完成（见图1中的*B*—*B*剖视图）。

新方案中刀具路径沿*X*轴往返切削，*A*轴旋转均匀步进，共同完成花键的铣削。刀具借助工件上的退刀

槽，不留加工死角，可以发挥设备直线快速进给的优势。图4、图5所示为新旧刀路对比。

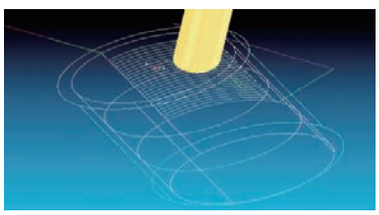


图4　原方案*A*轴旋转走刀原理

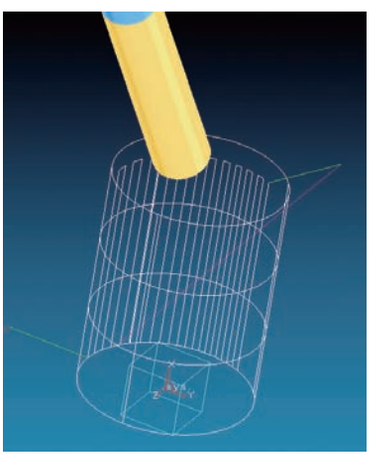


图5　新方案*X*轴直线进给原理图

（2）切削过程与效果：加工过程中发现*X*轴作主切削运动，*A*轴步距越小，花键间的圆弧面$\phi 29^{-0.03}_{-0.25}$mm拟合越好，但步距较小时切削效率明显下降，去屑时间加长。经调试，要想同时取得高的切削效率和好的圆弧拟合效果，经电脑模拟和试切，基本确认*A*轴步进角度在1.5°～2°之间（见图6）。

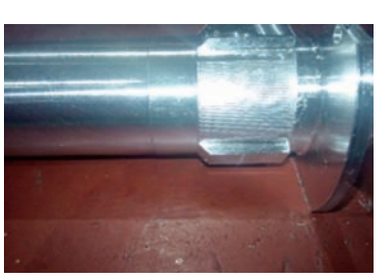


图6　*X*轴走刀纹路实物图

（3）优点：加工效率提高40%，零件尺寸与表面质量均满足要求，大幅减少*A*轴传动机构磨损的几率。

5. 针对切削三要素的改进

（1）参数设计与调试：在满足工艺尺寸精度要求、直线轴速度受机床极限控制的前提下，可选用无切削定位速度f_{max}=4 000～6 000mm/min。粗加工时，进给速度可选用3 000 mm/min，切削深度2～4mm；精加工时，进给速度只可选用1 600mm/min，切削深度0.2～0.4mm。在高进给的同时，关注主进给直线运动转向方式，以小圆弧运动来缓解拐弯折点机床惯性冲击。经调试确认第4套切削参数（见表1）较为适合，满足所要求的加工质量和效率。

表1　切削参数极限调试表

调试阶段＼参数		进给速度v_f/（mm·min^{-1}）	线速度v_c/（m·min^{-1}）	切削深度a_p/mm	刀具转速s/（r·min^{-1}）
原方案（采用ϕ8mm球头刀）		（*A*轴旋转1 000°/min）261.9	40.192	1.5	1 600
新方案参数调试（采用ϕ10mm立铣刀）	第1次	（*X*轴直线进给）500	62.8	1.5	2 000
	第2次	（*X*轴直线进给）1 000	78.5	2.0	3 500
	第3次	（*X*轴直线进给）2 000	141.3	2.75	4 500
	第4次	**（*X*轴直线进给）3 000**	172.7	2.75	5 500

（2）实操过程与效果：通过实际加工可知，①切削进给速度过高时，刀具有明显磨损现象。②切削深度较大时，零件有轻微振动。③刀具转速必须与切削进给速度匹配，从而得到较好的表面粗糙度值。

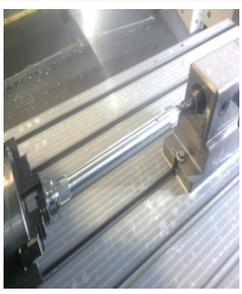
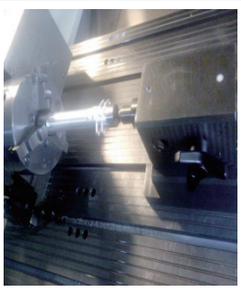
（3）优点：适当地选配切削三要素，对效率、质量都有帮助，单件加工时间又减少了14min以上，可以进行批量生产。

6. 新旧方案效果对比

这是一次具有典型代表意义的工艺改进活动，新旧方案详细效果对比如表2所示。

通过本次工艺改进，取得了一些成功经验。降低了花键轴零件的生产准备和占机时间，提高了*A*轴加工中心设备的利用率，以此为起点，逐步完善花键形面的数控铣削技术；以高效稳定的加工方案，提升应对市场需求的快速反应能力。以此次活动为新的起点，打破已有的固化思路，全面探索、完善数控铣削夹具、刀具和机床等方面的综合运用能力，充实数铣加工技术的模块化、成组化内涵。

表2　新旧方案效果对比表

对比项目	原方案		新方案
操作步骤	第一步	第二步	一步完成
操作图			
操作过程	松三爪→松尾座→拿出加工完零件→清理零件、安装面→放入下一件→上紧尾座、三爪→找正A轴起始角→输入数据→启动加工	松三爪→松尾座→拿出加工完零件→清理零件、安装面→放入下一件→上紧尾座、三爪→找正A轴起始角→输入数据→启动加工	松尾座→拿出加工完零件→清理零件、安装面→放入下一件→上紧尾座
单次装夹动作频次	9	9	5
	合计：18		
单件加工时间/min	90		33
次品数/批量（批次）	5/61（P1 216）、3/90（P1 231）、3/95（P1 322）		1/214（P1 330），次品是外部意外断电造成，与加工无关
操作人员认同度	相关机加人员随机抽选10位，认为“可以”：6人；“较差”：4人		相关机加人员随机抽选10位，认为“很好”：10人

参考文献：

[1] 李福生. 数控机床技术手册［M］. 北京：北京出版社，1996.

[2] 王先逵. 机械制造工艺学［M］. 北京：机械工业出版社，2006.

[3] 扬可桢. 机械设计基础［M］. 北京：高等教育出版社，1989.

[4] 陈家坊. 最新金属切削加工工艺实用手册［M］.上海：金盾出版社，2006.

[5] 陈宏钧. 金属切削常用标准工具手册［M］.北京：机械工业出版社，2007.

MW（收稿日期：20150916）



专家点评

细长薄壁轴类零件由于壁薄、长径比大，所以在机械加工中存在不易装卡、加工变形大等问题。作者针对原有加工方案，通过对装卡工装、刀具选择及切削要素等方面的改进，取得了显著效果，不仅保证了加工质量，还提高了加工效率。这些经验和方法值得同行在加工类似零件时参考。