多圆弧面产品的加工方案

王化清，孙玉郎，高文
中车戚墅堰机车有限公司　江苏常州　213000

摘要：在分析了摆块产品外形及其切削加工工艺特点的基础上，详细介绍了车铣加工中心和普通车床两种设备加工该产品的工艺方案，并重点阐述了柔性车削工艺装备的设计原理和应用方法。

关键词：圆弧面；摆块；切削；柔性；装备；设计；应用

1　序言

摆块产品如图1所示，它的上表面由3段圆弧面构成，并且3段圆弧面的圆心分别在不同的位置，*R*140mm圆弧的圆心在正圆（基准圆）的中心线上，而两个*R*142mm圆弧的圆心则分别对称于正圆心中心线的两侧，呈镜像对称分布。摆块底部还有两个铰制螺纹孔，用于产品的安装。要完成该摆块3段圆弧面的加工有多种加工方案，可以考虑采用车铣加工中心加工，也可以采用普通车床进行加工，还可以采用立式加工中心等进行加工，那么，在满足产品图样加工要求的前提下，哪种加工方法最佳？值得探讨。

笔者在本文中，就以前两种加工方案为例，通过以下分析进行对比，仅供参考。

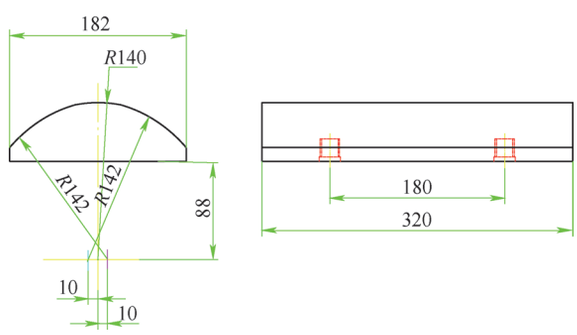

图1　摆块产品

2　车铣加工中心加工方案

2.1　车铣加工中心加工工艺分析

设计专用夹具，一次对称装夹2件摆块产品，完成3段圆弧面的加工。首先针对*R*140mm圆弧面，可以通过车削方式加工，两侧*R*142mm偏心圆弧面可以通过随动铣削方式加工。

2.2　产品装夹方案

用车铣加工中心加工产品，因一般采用一端卡爪夹持、另一端用中心顶尖定位支承的装夹方式，故需要设计一套框架结构件形式的专用夹具，如图2所示。加工产品摆块对称装夹在夹具的定位平面上，产品装夹后*R*140mm圆弧中心与机床的回转中心重合，以使得整体的动平衡性较好。

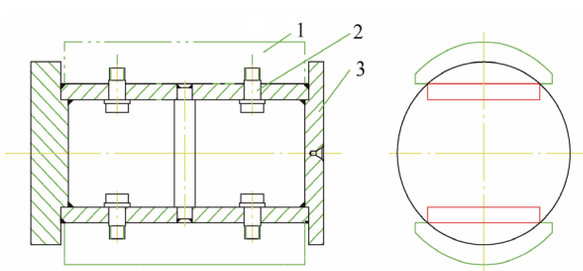

图2　车铣加工中心专用夹具

1—加工产品支承垫　2—铰制孔螺栓　3—夹具体

2.3　产品圆弧面的加工

（1）车削*R*140mm圆弧面　产品围绕设备回转中心旋转，刀具进行轴向进给，两个运动的轨迹可形成*R*140mm的正圆弧面。

（2）铣削*R*142mm偏心圆弧面　可以借助铣削偏心圆的功能指令来实现。

2.4　刀具的选择

采用铣削的方式加工圆弧面实际上是通过铣削

无数个细长的小平面来拟合成整个圆弧面，即以直代曲，故要求铣刀底刃平，且侧刃和底刃都能参与铣削，这样才能使加工面形成平面度和直线度较好的细长状小矩形平面，因此选择图3所示的三面刃盘铣刀。

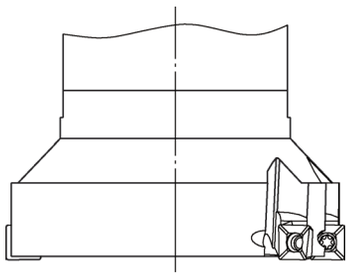

图3　三面刃盘铣刀

2.5　铣削加工原理及其相关参数的确定

由于铣刀刀片处在刀盘圆周上，中间没有刀片，故刀盘不能对中铣削，只能采取偏心铣削的状态，如图4所示。

偏心铣削涉及有效铣削宽度L的技术参数如图5所示，该宽度跟刀盘半径R、偏心距H有关，可以通过三角函数计算得到此参数。为保证有效铣削宽度最大，一般选择刃口的后端处于竖直方向的轴线上时来确定偏心距。

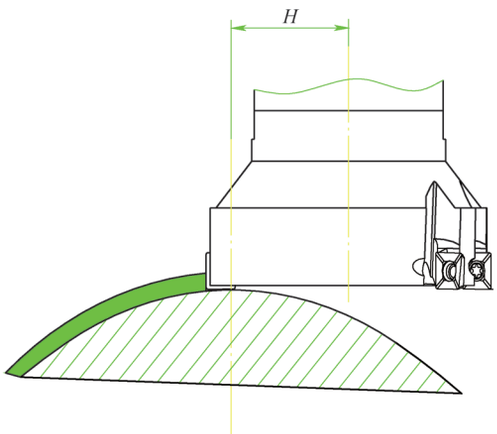

图4　偏心铣削示意

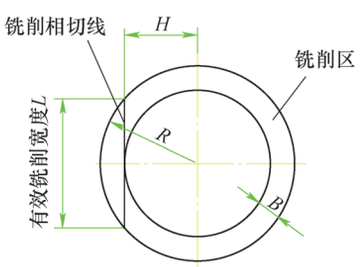

图5　偏心距相关参数示意

铣削方式：如图6、图7所示，以随动铣削左侧R142mm圆弧为例，铣刀在整个加工过程中始终处于竖直方向，一般选择工件上圆弧的起始点旋转到与铣刀相切位置时，为铣削起始位置。整个铣削过程中铣刀始终是和圆弧面相切的，待圆弧的结束点与铣刀相切时，即是铣削的结束位置。这两个位置一般通过CAD作图法画出，在图中可方便标出此时X轴、Y轴、C轴的坐标，便于手工编程。右侧R142mm圆弧加工类似，只需改变铣刀偏移方向和工件旋转方向。

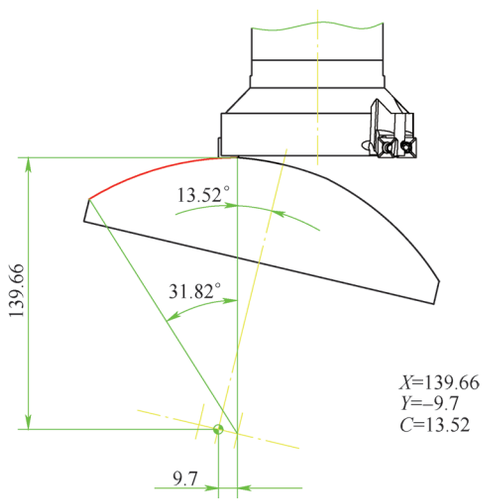

图6　铣削初始位置示意

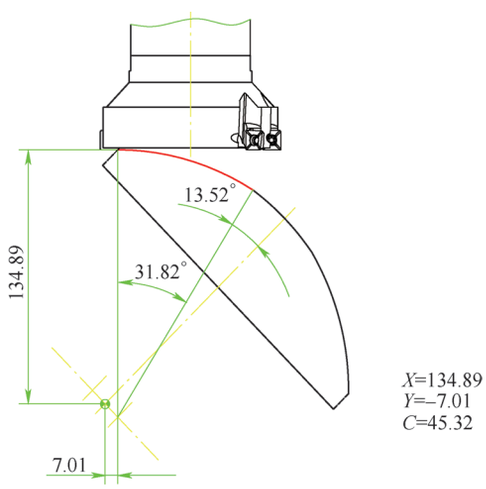

图7　铣削结束位置示意

2.6　车铣加工方案的优缺点

优点：一次装夹可完成产品3段圆弧的加工，节省了装夹辅助时间，所需夹具结构也比较简单，操作方便。

缺点：由于产品长度较长，有效铣削宽度远小于工件总长，因此轴向要多刀铣削。随动铣削由于

底刃和侧刃同时参与铣削，切削力较大，一般要求切削深度也不能太大，通常采用多层铣削的方式，这也意味着针对该产品，在轴向方向要多刀切入铣削，在径向方向，要分层进行铣削，左右圆弧也要单独铣削，显然，对加工效率会有很大影响。此外，铣削加工圆弧面时的表面粗糙度和圆弧的轮廓度相对车削加工相差较多，并且在铣削时，会存在较多的微小接刀痕。

3　普通车床加工方案

3.1　普通车床加工工艺分析

设计回转中心可变的柔性夹具，在夹具上一次对称装夹2件加工产品，夹具前端用自定心卡盘夹持，夹具后端用强力顶尖定位支承，先完成中间R140mm圆弧面的加工，再由夹具通过二次回转中心的转换形成左偏心距和右偏心距，从而分别将产品的右边R142mm圆弧面和左边R142mm圆弧面完成加工，车削加工轨迹如图8所示。

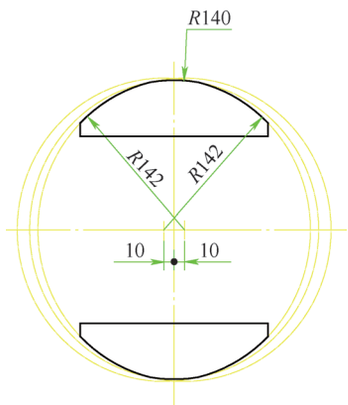

图8　产品车削加工轨迹

3.2　车削柔性夹具的设计原理

摆块产品柔性夹具的结构设计如图9所示，夹具体设计为焊接框架结构件形式，夹具体的上支承板和下支承板作为加工产品的定位平面，可以分别安装2件加工产品，再用2个铰制孔螺栓通过支承板从底部将产品定位夹紧，夹具体中间是空腔，以便

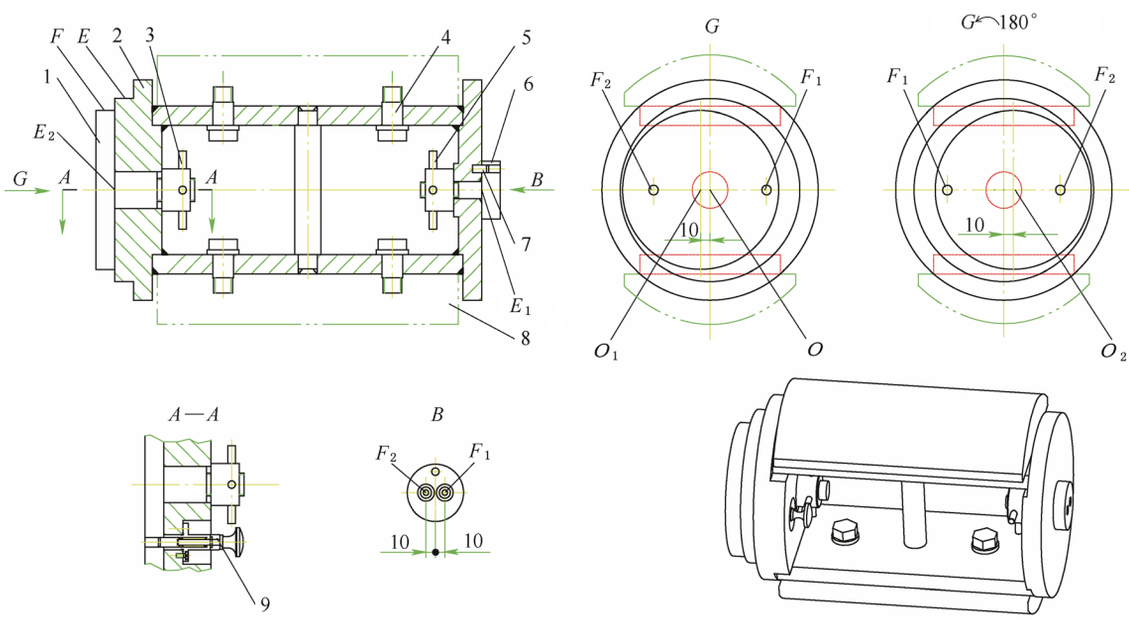

图9　摆块产品柔性夹具的结构设计

1—左端件　2—夹具体　3、5—手轮　4—铰制孔螺栓　6—右端件　7—定位销　8—加工产品支承垫　9—伸缩式定位销

于从前后二侧操作铰制孔螺栓及手轮，夹具体的右侧面中心设置有一个定位孔E_1，夹具体的左侧面中心设置有一个定位孔E_2，定位孔E_1与定位孔E_2在同一轴心线上。右端件如图10所示，端面有左右2只偏心距为10mm的顶尖中心孔，其作用是用于夹具右端偏心距的转换，右端件平面上还设置有定位孔P，用于其安装在夹具体的右侧面定位孔E_1中时的定位。左端件如图11所示，F圆盘与M圆柱偏心设置，偏心距为10mm，F圆盘上还设置有F_1、F_2两只定位孔，左端件用于夹具左端偏心距的转换。

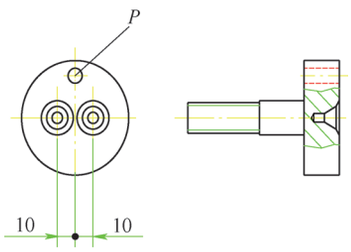

图10　右端件

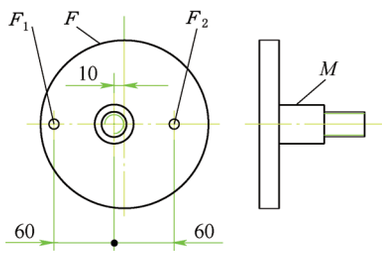

图11　左端件

3.3　车削柔性夹具的操作方法

（1）R140mm圆弧面的切削加工操作　具体如下。

1）　将2件加工产品分别用铰制孔螺栓装夹在夹具体的上支承板和下支承板的定位面上。

2）将自定心卡盘夹持外圆E。拆去右端件；车床尾座强力顶尖顶在夹具体右侧面的中心孔E_1中；夹具以O为中心回转时，对R140mm圆弧面进行车削加工。

（2）右侧R142mm圆弧面的切削加工操作　具体如下。

1）把夹具从机床上取下，将右端件插入中心孔E_1内，并将P孔也同时套入夹具体的定位销，并用手轮5（见图9）将其夹紧。

2）将夹具左端的伸缩式定位销插入F_1孔中定位，再用手轮3将其夹紧，此时，外圆F的中心与右端件上F_1孔的中心在同一中心线O_1上，通过上述转换操作，中心O_1相对于中心O左侧偏心距为10mm。

3）完成上述操作后，把夹具吊至机床上，用自定心卡盘夹持外圆F。车床尾座强力顶尖顶在右端件的F_1中心孔内；夹具以O_1为中心旋转，对右侧R142mm圆弧面进行车削加工。

（3）左侧R142mm圆弧面的切削加工操作　具体如下。

1）把夹具从机床上取下，松开手轮3，拔出伸缩式定位销，将左端件回转180°，将伸缩式定位销插入F_2孔中定位，再用手轮3将其夹紧，此时外圆F的中心与右端件上的F_2孔的中心在同一中心线O_2上，通过上述转换操作，中心O_2相对于中心O右侧偏心距为10mm。

2）把夹具吊至机床上，用自定心卡盘夹持外圆F。车床尾座强力顶尖顶在右端件的F_2中心孔内；夹具以O_2为中心旋转，对左侧R142mm圆弧面进行车削加工。

（4）完成加工工件的拆卸　松开铰制孔螺栓，分别将加工完成的2件工件从夹具上拆下。

3.4　建议

根据产品加工批量的大小，为了提高加工效率，减少装备在调整偏心距操作时的辅助作业时间，生产现场实际应用时，建议本夹具可以制作2套。当机床上的1号夹具在加工工件的R140mm圆弧面时，可将2号夹具进行上述3.3中（2）中2）的操作，为工件右侧R142mm圆弧面的加工做准备，待1号夹具上产品中间的R140mm圆弧面加工完成后，1号夹具连同产品一起取下，再将2号夹具连同产品安装在机床上，进行产品R142mm圆弧面的加工，即两套工艺装备可交替使用。

4　结束语

通过柔性工艺装备在普通车床上的应用，可有效扩大机床的加工范围，且取得了较好的经济效益；同时，通过这类的实践和创新，其原理也可在类似的弓形件（凸轮、摆轮等）的机械加工方面得到更广泛的应用，还可尝试着用于具有多个不同半径的不对称圆弧面工件的加工。经过笔者的实践，其圆弧加工面的表面粗糙度可以达到1.6μm等级。以此类推，采用本文装备的设计结构，也可在磨削装备上进行推广。

目前，虽然由于机械加工设备多种功能的成功开发及各类刀具的开发应用，已替代了原来要求用工艺装备来保证的部分工艺方法，但随着人们对个性化的要求，产品的批量化生产将会逐步减少，而小批量多品种的各类产品将会越来越多。实践证明，工艺装备的研发和创新是确保产品质量和解决工艺难题不可缺少的重要部分。

参考文献：

[1] 朱耀祥，蒲林祥．现代夹具设计手册[M]. 北京：机械工业出版社，2010.

MW 20210722