航空筒体零件单机自动化改进

刘壮壮，贺卫平，张宁盾
航空工业庆安集团有限公司19厂　陕西西安　710007

摘要：通过分析筒体类零件在立卧转换工序中的加工过程，梳理加工难点，制定单机自动化改进方案，并根据加工需求，对工艺稳定性做相关控制，以实现单机自动化运行，改进方案还可应用于其他零件。

关键词：航空筒体；单机自动化；夹具；定角向



高级工程师　刘壮壮

1　序言

筒体类零件广泛应用于航空产品中，主要为作动系统工作，使用位置包括各类舱门的推进系统及起落架系统。筒体类零件的内孔与外部轮廓及各种孔系间有较严格的角向关系和位置要求，给加工过程造成了一定难度。我司致力于筒体类零件的加工，随着航空市场的开放，客户订单不断增加，交货周期不断缩短，同时要求产品价格降低，这些因素都导致生产交付压力增大。为降低产品制造成本，提高企业竞争力，需要对筒体零件的制造过程进行优化，以提高加工效率。从企业长远规划方面考虑，最终要施行无人化的智能制造方式，在现阶段推行单机自动化改进，为后续发展奠定基础。

2　筒体零件工艺分析

本次计划改进的筒体零件是国际转包客户的一项关键零件，产品价格较高。2023年的交付表现较差，合同履约率为78.2%，客户多次投诉，仍然是欠交状态，若零件持续欠交，将影响公司在客户心中的形象。2024年此零件的订单量在2023年的基础上增加了20%，如果不能解决此零件的加工效率问题，将会进一步影响公司的交付表现，甚至会影响其他零件的订单量，同时也将对公司的未来发展造成不良声誉。为满足零件交付、提升公司形象以及展现公司水平，亟需解决零件加工效率低的问题，满足此零件的交付。

零件外形如图1所示，对零件加工工序进行梳理，制造流程包括：备料→粗车→粗铣→热处理→深孔加工→精车→精铣→立卧转换→珩磨→表面处理[1]。造成零件产出率低的原因是零件在立卧转换工序中的加工时间较长，这也是此零件在加工中遇到的瓶颈问题[2]。

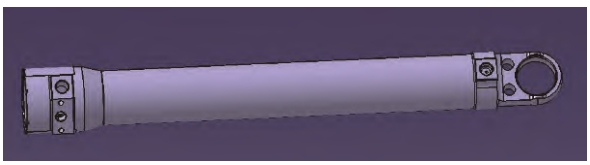


图1　零件外形

此筒体零件采用立卧转换工序进行加工，目前单件的加工时间为50min，效率较低，占用产能较

多，严重影响立卧转换设备的零件产出。图2所示为立卧转换工序的加工要求。此工序在加工时主要有安装夹具、安装零件、找正零件、建立加工坐标系、粗镗孔、精镗孔、测量孔径、粗铣6处小槽、精铣6处小槽和拆卸零件10个工步[3]，完成所有工步需要的加工时间见表1，完成所有工步合计需要50min。

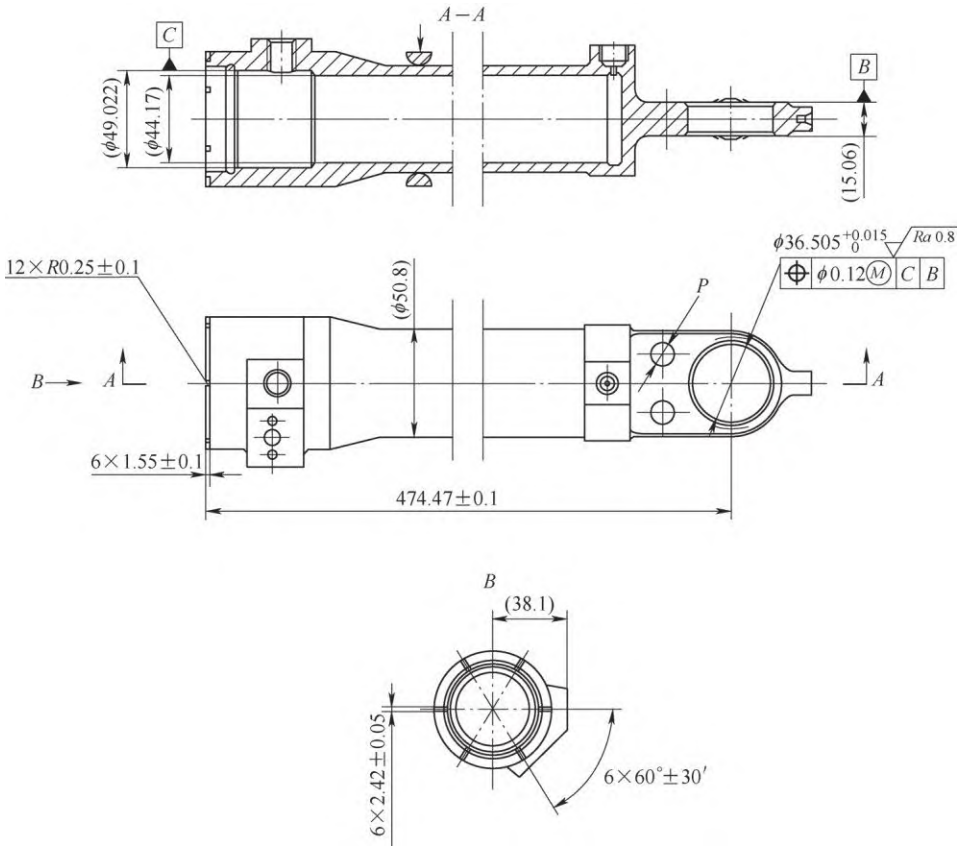


图2　立卧转换工序的加工要求

表1　完成各工步需要的加工时间

序号	工步	时间/min
1	安装夹具	30（每批）
2	安装零件	3
3	找正零件	15
4	建立加工坐标系	3
5	粗镗孔	2
6	精镗孔	2
7	测量孔径	2
8	粗铣6处小槽	15
9	精铣6处小槽	5
10	拆卸零件	3

3　加工过程分析

导致零件加工时间较长的原因主要为以下4个方面：①夹具无法控制角向，需单件找正。②零件装夹无限位，需单件建立坐标系。③零件装夹需要螺钉压紧，效率低。④加工键槽铣刀太长，强度不足。影响因素如图3所示，铣槽刀具如图4所示。

由此可以看出，大部分问题在夹具，同时也存在加工刀具选用不合理情况。分析存在的问题，有针对性地进行改进，对夹具和刀具改进设计[4]。制作专用夹具的要求为：①夹具中设置定角向及位置的销孔，保证零件装夹后不用再找正，实现轴向定位。②双V型定位，保证零件装夹后不产生径向偏移。③夹具上需设计气动压板，实现零件快速装夹。④在专用夹具上设计保压结构，保证夹具在加工过程中即使出现断气，也能稳定夹紧。

4　单机自动化方案设计

为保证零件立卧工序的互换性和稳定性，对加工工艺进行了优化控制。①以小孔定位，限定轴向尺寸和零件角向，压缩小孔的孔径公差及定位尺寸



a）夹具无法控制角向，需单件找正



b）零件装夹无限位，需单件建立坐标系



c）加工槽铣刀强度不足



d）零件装夹需要螺钉压紧，效率低

图3　影响因素



图4　铣槽刀具

公差。②设计双V形，零件径向定位，压缩零件外圆公差，保证径向定位精度。以上对工艺过程的控制，是为了保证零件在进行立卧转换工序前的产品质量统一，是单机自动化改进运行的关键要素，只有将零件的状态控制在要求的精度范围内，才能实现稳定互换[5]。工艺优化见表2。

表2　工艺优化

内容	更改前/mm	更改前/mm
轴向尺寸	$24.38^{+0.1}_{-0.1}$	$24.38^{+0.02}_{-0.02}$
定位孔尺寸	$\phi10.9^{+0.2}_{0}$	$\phi11^{+0.018}_{0}$
外圆尺寸	$\phi50.8^{0}_{-0.15}$	$\phi50.8^{0}_{-0.05}$

根据零件夹持时对夹具的需求分析，有针对性地设计夹具结构和功能，新的自动化夹具要解决上述难题并达到自动运行的目的。根据此要求进行夹具设计，充分结合筒体零件的结构以及立卧转换工序的加工要求，经过设计迭代，最终选择了兼顾自动化和多工位的设计方案。3个方案的选取原因如下所述。

1）方案1：以零件端面定位，限定轴向尺寸，以耳朵扁平面定零件角向关系。设计双V形，零件径向定位，夹具方案1如图5所示。因易存在扁平面和V形定位会同时限制零件Z向尺寸的问题，出现过定位现象，故放弃此方案。

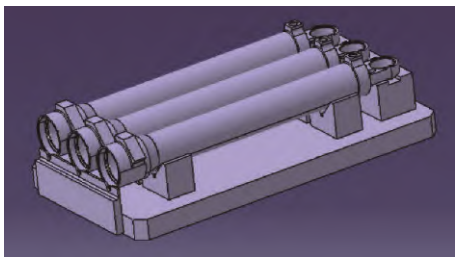


图5　夹具方案1

2）方案2：以小孔定位，限定轴向尺寸和零件角向。设计双V形，零件径向定位，夹具方案2如图6所示，设计4工位夹具，因夹具质量为70kg，质量太大，故放弃此方案。

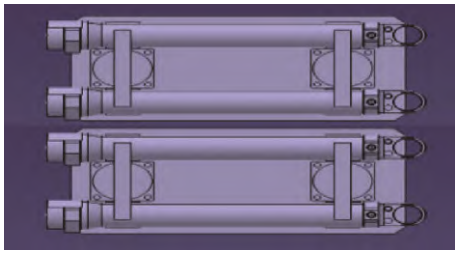


图6　夹具方案2

3）方案3：以小孔定位，限定轴向尺寸和零件的角向。设计双V形，零件径向定位，夹具方案3如图7所示，设计双工位夹具，采用此方案能保证零件轴向和径向的定位，控制较小的重复装

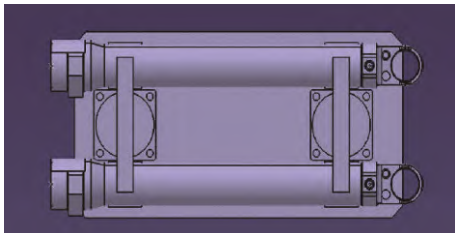
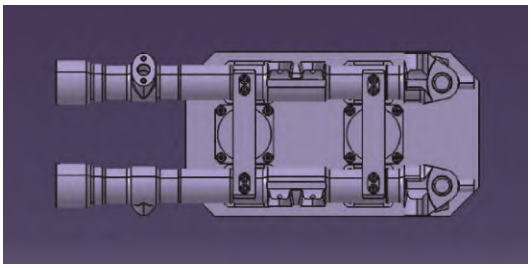
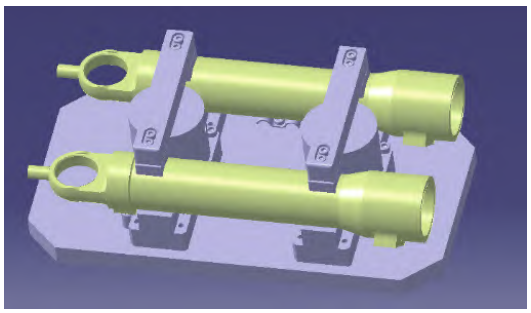


图7　夹具方案3

夹误差，能实现零件装夹互换。我司类似零件筒体A和筒体B，也采用了这种自动化夹具的设计方案，如图8、图9所示。

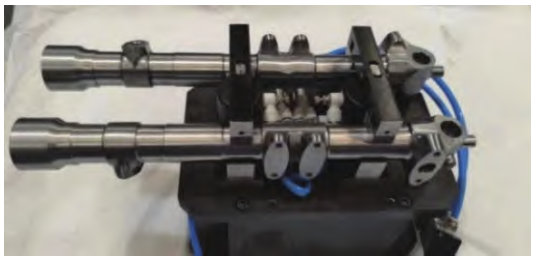


a）筒体A

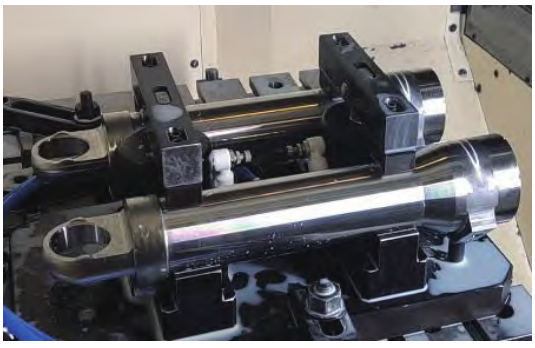


b）筒体B

图8　夹具的三维设计



a）筒体A



b）筒体B

图9　制造的夹具

对铣槽刀具进行优化，刀具直径设计为$2.3^{+0.02}_{-0.02}$mm，切削刃长2mm，增强刀具刚性的同时提高背吃刀量，铣刀新方案如图10所示。

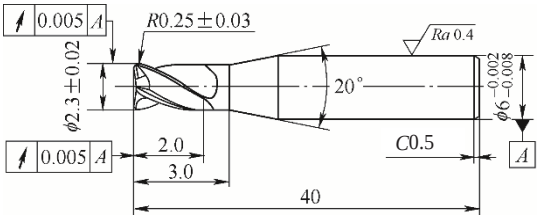


图10　铣刀新方案

5　自动化夹具检验及效果验证

夹具到位后，需要确认夹具的性能和状态，检验夹具是否满足自动化运行的所需功能，需要检验的几个要素如下所述。

（1）验证夹具的自动装夹和松开功能　新夹具要实现气动装夹和松开的功能，解决原有夹具装夹耗时长的问题。零件装夹后状态如图11所示，零件松开后状态如图12所示。



图11　零件装夹后状态



图12　零件松开后状态

（2）验证零件装夹后的定向功能　在方案设计时，对零件的角向控制做了要求，零件装夹后，可以实现角向定位，加工时不需再找正每个零件。零件装夹后定向如图13所示。

（3）验证零件装夹后母线的跳动　根据此筒体零件的位置度要求，零件的母线跳动需＜0.03mm。零件装夹后需对零件的上表面及侧面进行验证，上表面和侧面的跳动应＜0.015mm，方可满足工艺要求。零件上表面跳动验证如图14所示，零件侧面跳动验证如图15所示。

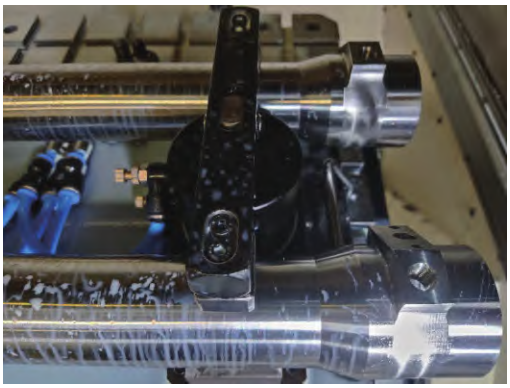


图13　零件装夹后定向



图14　零件上表面跳动验证



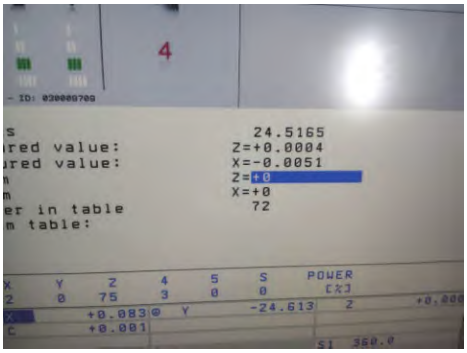
图15　零件侧面跳动验证

（4）验证零件装夹后零件的重复定位精度　该要素是决定能否实现单机自动化的关键，只有稳定实现零件的重复定位，才能保证零件的加工质量。在进行工艺调整时，将定位孔的位置尺寸压缩至$24.38^{+0.02}_{-0.02}$mm，公差为0.04mm。经过验证，零件的重复装夹位置可以控制在0.015mm以内，能实现装夹后稳定的互换性。零件重复定位精度验证如图16所示。

（5）验证夹具的安全性　夹具保护如图17所示。夹具的开关设置形式为旋转式，一般的误操作和碰撞不会打开松开开关，从而保护零件装夹的安全性。另外，此夹具使用的动力源是压缩空气，为防止断气后夹具松开零件的现象发生，在夹具的进气管位置处安装了单向阀，可以保护气源的稳定性，即使出现断气现象，在单向阀的保护下，也可以保证夹具装夹零件稳定可靠。

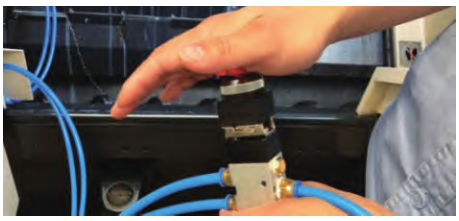


a）使用测头验证零件的重复定位精度



b）验证结果，偏差0.005mm

图16　重复定位精度验证



a）防碰撞保护按钮



b）管路中安装的单向阀

图17　夹具保护

项目实施后，此零件的加工时间缩短至25min，具体加工统计时间见表3。同时夹具和零件间良好的互换性使零件可以实现自动化运行，连续批次的零件加工，只需要校正一次。此项目的工装、工艺的设计及运行，使工艺人员掌握了单机自动化运行的核心技术，对后续其他零件的方案改进有很大的指导意义。

表3　具体加工统计时间

序号	工步	时间/min
1	安装零件	2
2	找正零件	0
3	建立加工坐标系	0
4	粗镗孔	2
5	精镗孔	2
6	测量孔径	2
7	粗铣6处小槽	10
8	精铣6处小槽	5
9	拆卸零件	2

6　结束语

本次筒体零件单机自动化的成功实施主要取决于以下几个方面。

1）在进行项目策划时，对零件的加工过程进行详细分析，发现了旧夹具无法定角向、找正时间长、需建立独立坐标系以及拆解费时等弊病，明确了后续的改进方向。

2）充分分析了使用自动化夹具时工艺稳定性要求高的特点，对零件的关键定位尺寸进行了有效控制，使零件实现了稳定的互换性。

3）在方案设计时，充分论证了相关要素及影响，最终选定适合方案。

此筒体零件工艺方案的成功实施，为后续类似零件的单机自动化改进打好了理论基础，提供了实际指导，根据此零件的成功案例，我司又设计并制造了其他零件的自动化夹具，在效率提升方面取得了良好效果。

参考文献：

[1] 王聪梅. 航空发动机典型机械加工[M]. 北京：航空工业出版社，2014.
[2] 大卫. M. 安德森. 可制造性设计[M]. 郭慧泉，译. 北京：人民邮电出版社，2018.
[3] 陈明，梁乃明，方志刚，等. 智能制造之路（数字化工厂）[M]. 北京：机械工业出版社，2016.
[4] 周骥平，林岗，朱兴龙. 机械制造自动化技术[M]. 4版. 北京：机械工业出版社，2019.
[5] 王军，朱卫峰. 机床（工装）夹具设计[M]. 武汉：华中科技大学出版社，2016.

MW 20250328

（上接第12页）

加工仿真软件，进行测量、切削模拟，确保程序切削、程序间跳转和测量动作安全可靠。

（6）补偿加工　通过加工仿真，进入实际加工调试，验证设计工艺和测量的可行性。加工完成的零件如图4所示。



图4　零件

4.4　效果分析

通过自动化工艺实施，成功完成整流支柱铣序加工，加工周期得到明显提升，操作人员在切削过程中无需介入，实施后实动时间由96h降低至48h，切削时间由46h降低至44h，辅助时间由50h降低至4h，极大程度地降低了一线操作人员的辅助时间。

5　结束语

通过典型铸件自动化工艺的实施，成功验证了在机检测探头与数字化建模、CAM编程协同融合的可行性，形成了船舶铸件“检测-分析-补偿”的全流程解决方案，实现了铸件加工从“经验驱动”到“数据驱动”的转型，大幅减少了一线操作人员在工件加工过程中的介入，为“一人多机”的加工模式改革注入新动力。

参考文献：

[1] 李淑娟，李言，袁启龙，等. 铸件机械加工余量及尺寸公差快速确定方法的研究[J]. 铸造技术，2005（1）：10-13.
[2] 肖冲，赵登登，高禾林. RMP60 测头在高速动车组侧墙加工中的应用[J]. 金属加工（冷加工），2022（11）：74-78.
[3] 郭前建，王红梅，李爱军. 机床热误差建模技术研究进展[J]. 河北科技大学学报，2015，36（4）：344-350.
[4] 胡翊浠. 基于机器视觉和振动信号的铣削刀具磨损状态监测方法研究[D]. 深圳：深圳大学，2023.
[5] 梁军华. 镍基高温合金切削过程中刀具磨损及其状态监测技术研究[D]. 成都：西南交通大学，2022.

MW 20250330