

Technology and Quality Control of Aerospace Magnetic Valve Unitized Manufacturing

Zhou Fan, Xin Lu, Tielin Li

China Academy of Launch Vehicle Technology, Beijing
Email: fanzhou5@126.com

Received: Feb. 12th, 2019; accepted: Feb. 26th, 2019; published: Mar. 6th, 2019

Abstract

This paper describes in detail the process and practice of establishing the valve body processing unit to solve the bottleneck problem in the production of the solenoid valve body of the aerospace engine. The production characteristics, unit construction, process quality control and technical summary of solenoid valve body are introduced in detail.

Keywords

Airspace, Magnetic Valve, Unitized Manufacturing, Technology and Quality Control

航天电磁阀单元化制造工艺与质量管控

范舟, 卢欣, 李铁麟

中国运载火箭技术研究院, 北京
Email: fanzhou5@126.com

收稿日期: 2019年2月12日; 录用日期: 2019年2月26日; 发布日期: 2019年3月6日

摘要

本文介绍了为解决航天发动机电磁阀阀体生产“瓶颈”问题而建立的阀体加工单元的建立过程和实践情况。重点对电磁阀阀体的生产特点、单元建设、工艺质量管控、技术总结等几方面进行了详细介绍。

关键词

航天, 电磁阀, 单元化制造, 工艺与质量管控



1. 引言

2018年,我国长征系列运载火箭共进行37次发射。航天发动机电磁阀作为增压输送系统的重要组成部分既具有多品种、变批量等生产任务的特点,又要满足高强度发射的要求。因此仅仅依靠增加人员、加班加点等传统提高产能的方式,只能短期内小幅度地提高生产交付能力,无法长期满足大幅增加的任务形势需求。简单的扩大生产规模提高产能的方式,又受限于硬件资源、人员培训、成本控制等因素,无法实施。因此,必须使用先进的制造模式,在制造模式层面开展研究与实践,挖掘潜力,提升能力。按照产品特点和生产现状,选择产品种类数量多、生产周期长、制约生产进度的电磁阀阀体,采用单元化生产模式。

单元化制造系统[1]是针对中小批量制造、订单驱动和非稳定不平衡制造环境下的一种制造管理方式,其管理与控制的目的是通过对物料、人力、设备等生产资源的合理计划、调度与控制,缩短制造周期,减少在制品,降低库存,提高生产资源的利用率,最终达到提高生产率的目的。目前,单元化制造系统研究的关键技术[2][3][4]已经基本突破,完成了单元化对单元要运行产品的生产特点的分析,建立工艺布局,进行生产组织,然后注意进行工艺管理、物流管理、人员管理、设备管理,并制定有效的质量控制措施。

2. 电磁阀阀体的产品特点

在液体航天发动机中,电磁阀控制推进剂或控制气体进入推力室和燃气发生器和其他部件,关闭时切断推进剂或控制气体的供应,其阀体的精度影响着可靠性,响应时间,电磁阀的阀体毛坯一般由两端为磁性材料,中间为隔磁材料焊接而成。因此阀体的用量大、工艺复杂、材料难加工、制造周期长。

2.1. 阀体材料分析

对目前在制生产的几十种电磁阀阀体进行了分析。阀体毛坯由端头、法兰盘、隔磁环三种零件焊接而成见图1。从材料上分析,阀体主要由表1材料组成。各种阀体的材料组成相似,切削性相似。

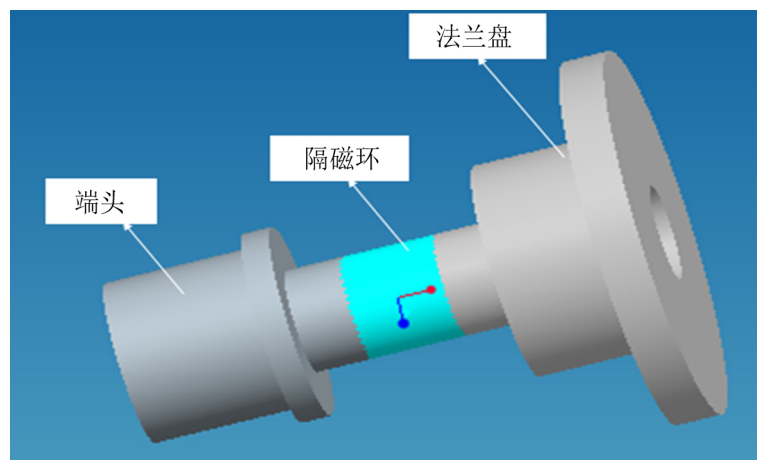


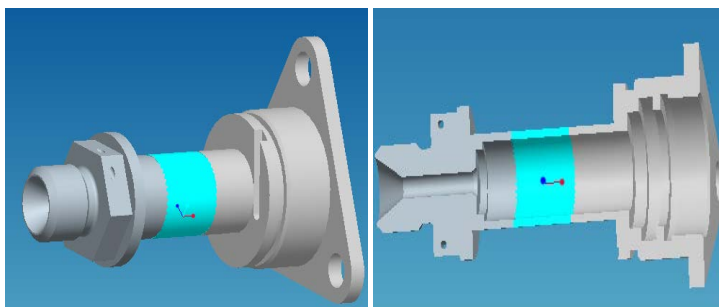
Figure 1. Diagram of valve blank
图 1. 阀体毛坯示意图

Table 1. Material composition of valve**表 1.** 阀体材料组成

组成	端头	法兰盘	隔磁环
材料	软磁合金(IJ116, Cr17NiTi, BYR1, DT4C)	软磁合金(与端头材料一致)	1Cr18Ni9Ti

2.2. 阀体结构分析

从结构上分析, 阀体结构主要为入口接嘴、中间为绕线窗口和引线槽、后一段为对外接口(法兰或接嘴)和内部装阀芯、挡铁的、阀座的密封和电磁响应部分, 精度要求为 μm 级。如图 2 所示。

**Figure 2.** Diagram of valve**图 2.** 阀体示意图

另外, 阀体有一个特点, 三类阀体结构虽然不同, 但是使用的设备基本相同。各类阀体的各个型号的阀体除尺寸有所变化外结构基本相同, 这使得电磁阀阀体制造单元不受某一具体型号限制, 覆盖面更加广泛, 任务量更加饱满。

2.3. 阀体工艺流程分析

在电磁阀最初研制时, 我厂几乎没有数控车床、数控铣床及加工中心, 电磁阀阀体原加工工艺以普通车床和铣床为主要设备, 由于受机床的装刀数和加工能力所限, 每个机床只能完成部分尺寸加工工作, 产品需要在不同的设备间多次流转, 频繁变换设备、更换工装, 造成产品加工工艺流程长。在单元内加工, 需要对产品加工工艺流程进行调整和优化, 其原则是: 使每一个工序和其他工序能够实现同步化流动生产。即实现“一个流”生产作业。优化后流程如图 3。

**Figure 3.** Flow diagram of simple valve**图 3.** 简单型阀体加工流程

经过对阀体的流程分析, 阀体流程基本可以满足工序的流水节拍, 能实现“一个流”的生产。

3. 建立电磁阀阀体制造单元

3.1. 设备布局

设备布局考虑时要基于产品的加工工艺流程, 实现高效生产, 同时要综合考虑产品的通道安排、工装摆放和物料路径, 进行设备选择和设备布局。在设备布局前, 首先进行了产品零件簇梳理; 对各簇零件进行工艺流程优化; 并对工艺路线、工艺顺序进行了绘制和分析; 对并工序负荷、机床的能力进行计

算，最后确定电磁阀阀体的单元平面布局图如图 4。

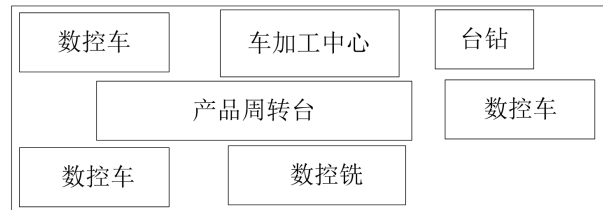


Figure 4. Layout diagram of valve processing unit
图 4. 阀体加工单元布局图

经过综合计算分析，将电磁阀阀体加工单元设计为“U”形布局，使用设备为车间原有的经济性数控车 2 台，全机能数控车 2 台，数控铣 1 台，台钻 1 台。单元化的布局在厂房改造时按要求重新进行了建设。

按照单元化的布局，将电磁阀阀体生产所需的人员和设备按加工工序重新布局，大大缩短了物流路径，提高了生产效率。

在工艺布局的过程中，对原有工艺流程进行了深入的优化，把原来的 18 工序减少为 7 个工序，有效地减少了设备和人员的占有，大幅度地提高了单元内的生产效率。

3.2. 工艺管理

工艺管理的变化要随着生产管理方式的变化而变化。原来零件按批量流转时，工艺规程随着零件一起流转。但是在单元化的生产中，操作者必须都要看到自己的工艺规程。因此工艺规程必须进行单元内的工序拆分，每位单元化内的操作者就可以看到用于指导本工序操作的工艺规程。在阀体加工单元内，并且对刀具、工装的管理进行了要求。工装由技术人员申请设计、试用后，对工装的使用寿命、检查要求进行了规定，操作者按要求除完成齐套后，必须按照要求更换和检查。在单元内，某些工序所需刀具数量多，并且刀具的安装对产品的质量也有影响，因此每件刀具在单元内除对寿命有要求外，还对其在机床的刀塔上的位置、伸出长度等都有详细的规定。

3.3. 质量控制

传统的质量控制措施是每一个工序中首先加工零件，操作者自检，其他人互检，由专职检验进行检验，即“三检”；然后操作者进行批加工，再有专职检验进行检验。这是由操作者和检验挑出合格品、超差品、报废品，然后进行返工处理。在整个检验过程中，主要是依赖检验对产品质量进行事后“把关”。检验人员本身存在着检验换型，检验准备，检测时间，不但需要大量的检验员，而且还需要花费大量的时间，存在着产品加工出来，检不出来的现象。生产的效率很低。

阀体加工单元强调在加工前对产品质量进行控制，把产品质量控制相关的每一个措施都明确到操作过程中，例如刀具、夹具、找正、数控加工程序、量具等。在产品进行单元化加工前，并且实施一件产品(首件)在单元内完成，每一个工序实施三检，保证初始的正确性。然后进行单元化加工，操作者对自己加工的零件进行 100%自检，检验过程被当成标准的操作计入到加工的节拍中。专职检验在操作过程中，进行巡检，并且进行 10%的抽检。在单元完成后，实施全尺寸件件测量。

在阀体加工单元中，操作者的自检被列入节拍，并且明确为标准动作，另外阀体的特点是每个尺寸可以测量，这样使得产品的质量严格受控制。当操作者在加工过程出现质量问题时，立即采取挽救措施。并且技术人员在在控制措施上进行完善，保障产品的质量完全受控。

目前阀体加工单元在 7 个工序之间设置了一个专检，进行产品的首检，巡检和抽检工作。单元完成后，产品进入总检，由专职检验进行全检。

4. 制造单元的试运行情况

阀体加工单元的运行结果非常明显，选用车间每年投产量为 2200 件为阀体进行了运行。运行了五批(各 160 件)后，通过单值控制图(如图 5)可以看出，生产效率提高了 5 倍左右。

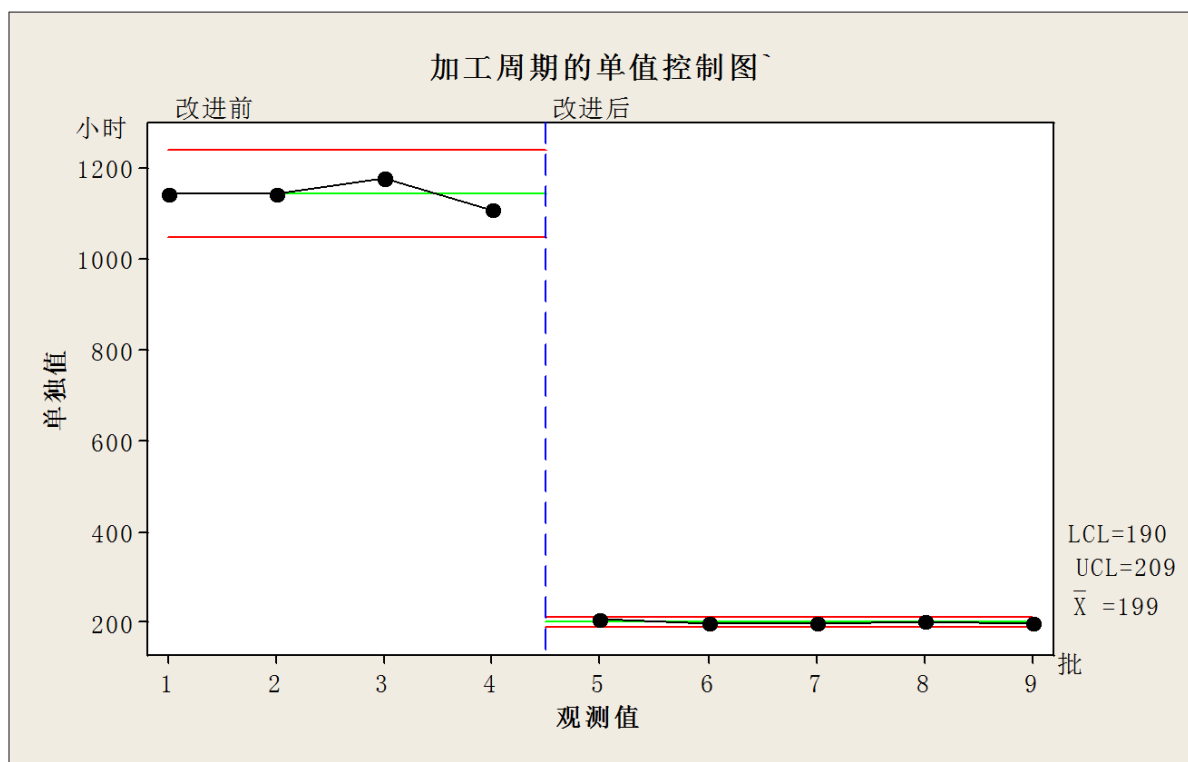


Figure 5. Statistical diagram of processing cycle

图 5. 加工周期统计图

5. 总结

5.1. 保证产品质量，保证一致性

通过单元化运行，对产品加工的刀具、设备、加工参数、装夹方式、找正方式等进行了规范化的规定，可以更好地保证各加工部位尺寸及形位公差，同时因为减少了装夹及定位次数，减少了返修的工作量，更好地保证单元化内加工产品内在质量和表面质量，保证了产品的一致性。

5.2. 降低产品的生产成本

通过单元化运行，极大地降低了生产成本。因为减少了周转、装夹及定位次数，提高了表面质量，降低了返修率从而降低了加工成本。同时，通过工艺改进，减少了设备和人员的占用，降低了人力成本。

5.3. 提高产品的生产效率

单元化的实施，极大地提高了加工效率。在单元内，可以减少周转和生产准备时间、换型等待时间，生产效率可以大幅度提高。经过某型号阀体的加工统计，生产效率可以提高 5 倍。阀体加工单元运行还

处于初期, 还有大量的其他型号的阀体要在具体的技术环节进行摸索、改进, 提高单元化的工作能力, 促进企业能力的发展。

参考文献

- [1] 刘飞. 先进制造系统[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2006: 10-30.
- [2] 王国平, 胡新平. 首都航天机械公司集成制造系统顶层设计[J]. 航天制造技术, 2005(5): 9-10.
- [3] 王国平, 胡新平, 刘欣, 等. 传统组件制造单元在首都机械公司的实践[J]. 航天制造技术, 2006(1): 4-6.
- [4] 周平来, 刘胤, 尉世厚, 等. 太阳翼基板单元制造模式实践研究[J]. 航天制造技术, 2012(6): 5-7.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2330-474X, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: jast@hanspub.org