

# 喷管后段内壁铣槽加工工艺

陈 曦

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710061)

**摘 要:** 归纳了喷管后段内壁在铣槽加工中容易出现的问题, 从技术上进行了分析, 结合机床特点, 介绍了采取的一系列措施, 重点阐述了解决问题的方法和注意事项。解决了长期困扰在生产中的难题, 大副降低了加工中的误差幅度。

**关键词:** 液体火箭发动机; 喷管; 铣槽加工

**中图分类号:** V434

**文献标识码:** B

**文章编号:** (2006) 04-0048-03

## Milling groove machining of inner wall of nozzle extension

Chen Xi

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710061, China)

**Abstract:** Aimed at a kind of problems in working of milling grooves of nozzle inner wall of rear section, this paper discusses the way to solve the problems after technical analysis. The difficult problems puzzling for a long time are solved and error rate comes down greatly in working.

**Keywords:** liquid rocket engine; nozzle; milling groove machining

### 1 引言

喷管后段内壁是火箭发动机的一个重要零件, 铣槽是该零件机械加工的最后一道工序, 也是难度最大、生产周期最长的一道工序。所以它的质量好坏直接影响着发动机的质量。随着航天科学技术的发展, 对产品质量的要求已经提升到一个新的高度。面对喷管后段内壁结构的复杂化、

大型化、薄壁化和精密化的特点, 怎样利用现有设备与工艺人员密切配合, 干出高质量、高效率、工作稳定性及可靠性都极强的产品迫在眉睫。

### 2 问题分析

喷管后段内壁铣槽简图见图 1。

影响喷管后段内壁铣槽加工精度的因素主要有以下三个方面: 一是喷管成型工艺难以保证,

收稿日期: 2006-04-14; 修回日期: 2006-05-10。

作者简介: 陈曦 (1971—), 男, 高级工, 研究领域为液体火箭发动机推力室铣槽加工。

这直接影响铣槽加工深度；二是工厂对铣槽工序增加了新的尺寸要求，这有可能成为新的超差因

素；三是铣槽设备日益老化，稳定性差，会给加工带来意想不到的困难。

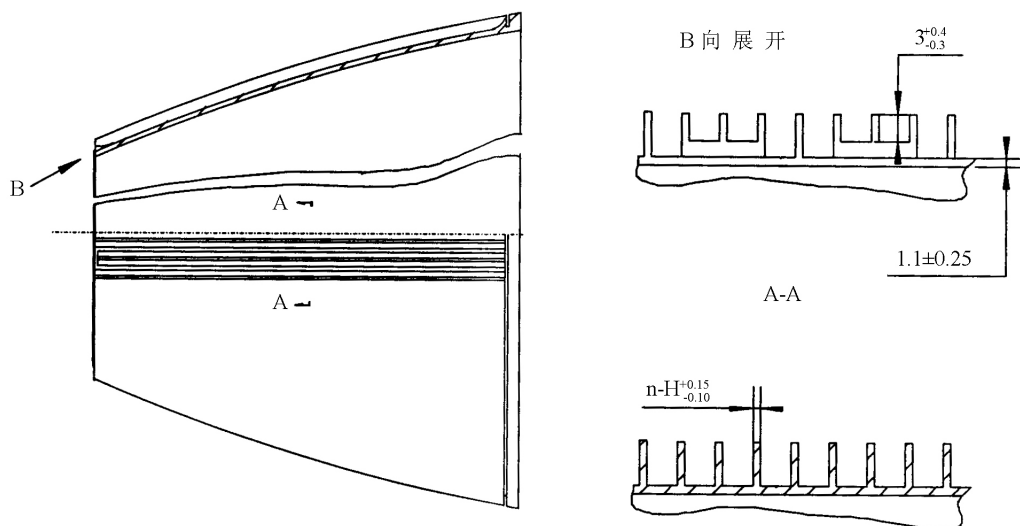


图1 喷管后段内壁简图

Fig.1 Inner wall of the nozzle extension

来自原材料因素的影响主要表现在喷管后段内壁是由三块板材拼焊而成，壁厚薄。焊接时的应力分布不均，变形复杂，给保证加工精度带来种种不利因素。例如：上道工序提供的毛坯有些是壁厚超薄件，最小壁厚在  $5.1 \sim 5.4\text{mm}$  之间。要保证图1所示剩余壁厚  $1.1 \pm 0.25\text{mm}$  的尺寸要求和槽深大于  $4.2\text{mm}$ ，难度较大。焊缝两边壁厚与基本金属区域壁厚不一致、超薄。按基本金属区壁厚数据加工，剩余壁厚经常超差。原材料内壁局部在上道工序打磨后，从外表面看不见打磨处，在铣槽加工中也容易超差。

此外工厂为了保证钎焊质量，对铣槽工序小端出口处增加了新的尺寸要求。如图1中B向展开图所示，在短槽（不通槽）出口处有一个  $3_{-0.3}^{+0.4}$  的尺寸要求，该尺寸与短槽长度、深度以及小端出口处的筋的宽窄相互影响。对于一个工件来讲，保证了其加工长度和深度要求，正常情况下的筋宽，也能够保证。但如果在分度上稍有偏差，刀子将会碰伤已经成型的筋，造成尺寸误差，这有可能成为新的超差点。机床方面的原因是设备不稳定，主要表现在加工中工件上仿型铣槽转化为工件下仿型时，机床常有窜动。床身一窜，就容

易铣出超过设定槽深的凹坑。工件分度不均匀，造成小端筋铣窄。我厂是用自行研制的靠机械分度的设备来加工喷管后段内壁，在它的分度盘上有150个孔和4个定位销。加工时是通过拔销、转台分度和销子插孔等一连串动作来实现转台分度的。只有分度准确，才能保证产品质量。清根时有可能造成大端尺寸超差。

### 3 解决方案

#### 3.1 消除、减小原材料因素带来的不利影响

实践中，工艺根据平常积累的经验，要求焊缝两边铣浅，并提出工艺状态，要求标出打磨处和该处的壁厚数据。要求上道工序提供周向6个区，轴上24个点的数据。此法能准确反映出整个喷管的壁厚变化。在加工过程中，操作人员随时测量，及时抽检，严格按照工艺文件和操作规程操作，对有壁厚变化处的尺寸更要小心谨慎。

#### 3.2 加工时随时清理两片铣刀间的铁屑

如果刀具散热条件差，切削温度升高，使刀具耐用度降低，直接影响到加工深度和加工的表面质量，而且刀片之间夹屑，也容易把筋蹭窄。

在保证产品质量的前提下,选择合适的切削用量,并及时清理接油槽表面的铁屑,添加润滑油,保证机床运行状态良好。

### 3.3 对工件分度进行监测

#### 3.3.1 工件分度监测依据

根据分度等分,则在圆周上弦长相等的道理,来进行工件分度监测。考虑到即使转台分度准确,也不一定能保证工件铣槽处分度准确,因为从喷管铣槽处到销子插孔分度,中间的许多环节都要可靠,比如:喷管和胎具之间不能有相对位移,喷管上胎的夹具和机床连接的花盘之间要紧固,同时锁紧花盘的顶丝也要牢靠,销子孔和销子的配合也要很好,等等。所以我们不是单单对机床转台分度进行检测,而是选择了对工件分度的可靠性进行监测。

#### 3.3.2 方案实施

在工件中心大端出口处画一条短线后,先后采用了三种方法对工件分度实施监测(见表1)。

表1 划线方法效果比较表

Tab.1 Comparison of the three methods

试验项目	效果比较
1.5m 高度尺	可用,但有时划线不连贯,因为1.5m 高度尺同时供4 台设备使用,不能专用于此设备
百分表座上夹划针	可用,但不易操作
清根装置上夹上磨尖的立铣刀	好

通过以上三种划线方法对工件分度进行监测,不难看出,在清根装置上用磨尖的立铣刀进行划线,效果最好。即每加工完一条槽转台分度后,就用它在工件大端表面上轻轻划一条线。由于喷管内壁是长、短槽等分,只要两条刻线之间的间距基本一致,就表明机床分度正常。

#### 3.4 去除清根误差的措施

在工序安排上,要考虑到先粗清大余量,再分几次精清,由粗到精,多次走刀,保证筋宽和槽深,达到精度要求。

以前清根总是把粗清全部清完后,再分几刀精清筋的上表面,然后再分几刀精清筋的下表面,这样一台工件全部清完根,转台至少要转三圈。

现在根据该机床的特点,为减少插销次数,每分度一次,利用微量调整清根铣刀,分几次把每条槽的粗清、精清都清完后,再分度。清根时注意控制好深度,尽量与环槽接平,并保证筋宽符合如图1所示 $n-H_{0.10}^{+0.15}$ 的尺寸要求。

有的立铣刀清起根来很难切削,可将铣刀端面上的三个切削刃磨掉一部分。这一方面提高了刀具的切削能力;另一方面可防止产生振动,提高了加工表面质量和刀具的耐用度。

由于清根时要浇注冷却液,不易观察刀子的切削状况,我们清根时就根据经验,留意每条槽的手柄位置,以此来判断刀子轨迹是否合适。

清根装置的压板容易松动,要随时注意调整。

## 4 结论

经过对喷管后段内壁的工艺理论分析和实践摸索,并采取上述一系列措施后,有效地控制了加工精度,产品质量符合图纸要求,使用性能良好,由此得出结论:

(1) 利用现有设备对机床状态进行监测,可以预防由于机床不稳定、分度不均匀导致的筋宽超差现象。

(2) 机床每分度一次,完成粗清大余量和精清小余量的所有工作,减少插销次数,可消除分度误差对清根处筋宽的影响。

(3) 经过数十台零件的加工,证明对上道工序中的原材料提出技术要求,确定实际壁厚尺寸,保证铣槽加工精度的方案是可行的。

#### 参考文献:

- [1] 徐进进.薄壁焊接件精密深孔加工的精密控制[J].航天工艺,1993,6.
- [2] 刘明昕.波纹板成型模数控加工技术[J].火箭推进,2005,1.

(编辑:王建喜)