

应用三轴数控车床加工梅花瓣状内沟槽的技术探究

高峰 董建博 朱峰

(西安航天发动机有限公司 陕西 西安 710000)

摘要: 本文介绍了一种具有深长孔带“梅花瓣”状沟槽的产品特征, 同时对其编程、找正、加工方面进行了介绍。本文阐述了其加工过程的关键技术, 充分利用数控车床 C 轴和 X、Z 三轴配合, 来实现高效率加工, 为同类型产品的加工提供了宝贵的经验。

关键词: 深孔; 内沟槽; C 轴定位; 数控加工

0 引言

阀门自动器是研制新一代火箭发动机的重要组件, 在火箭发动机工作中起着决定成败的作用。某副断阀装配于常规运载发动机一级、二级主机及助推级分机, 每个分机装配 1 台, 主要功能是切断副系统的氧化剂供应, 停止发生器工作。该副断阀中的主要产品为本文所介绍的壳体, 由于受到内腔结构限制, 传统的加工方式导致周期过长, 一般每 100 件产品需加工 3 个月。近几年, 伴随着航天产品高密度型号发射, 公司生产任务逐年增加。近年来, 为满足逐年增加的交付数量, 大批量滚动生产模式成为常态, 如何缩短该壳体的加工周期, 成为困扰车间生产进度的难题之一。

1 产品介绍

某型号壳体是该阀门主要零件, 每年交付数量大。该壳体材料为锻铝 2A14, 结构如图 1 所示, 右视图中

为 3 个均布的梅花瓣凹槽。“梅花瓣”状内槽通常利用插床进行插槽加工。

1.1 加工工艺

该壳体内腔结构复杂, 现有工艺方法为机械加工工艺规程第 X2 ~ X6 工序。

车工工序: 切 4 处窄槽 → 车工工序: 切两处宽槽 → 插床工序: 插梅花瓣槽 → 车工工序: 去毛刺 → 钳工工序: 去毛刺, 共 5 个工序完成壳体内腔的加工。

先由车工装夹加工内腔型面, 切 4 处窄槽、两处宽度分别为 12mm 和 8mm 直径 $\phi 24$ mm 的宽槽 (图 1); 然后拆卸、周转至插床进行梅花瓣槽的加工; 接着拆卸、周转至车工去除插槽后的大量毛刺; 最后拆卸、周转至钳工对梅花瓣处的小毛刺进行去除。经过以上 5 个工序的流转, 方可完成壳体内腔的加工。其间出现多次装夹、拆卸、周转, 费时费力。

目前, 插槽工序在传统插床上进行加工, 车间现有插床设备为抚顺新生机床厂生产的 B5020, 插槽长度范围为 20 ~ 200mm。在该插床加工某型号壳体中 3 个均布的梅花瓣凹槽时, 首先在卡盘装夹零件, 将专用刀具固定在插床上进行找正对刀, 找正不宜费时费力, 稍偏会导致梅花瓣歪斜; 然后利用垫块调节插刀的行程, 整个准备过程一般需要半天时间。加工时, 工人需要高度集中精力, 完全靠手动控制来完成插槽, 产品质量不易控制, 而且需要蹲在插床上加工, 劳动强度极大, 易产生疲劳。插刀往复运动的同时要瞅准时机, 当插刀抬起时立即手动调整刻度进给量, 否则极易出现偏差, 导致产品超差报废, 吃刀量不均匀, 刀具磨损加剧,

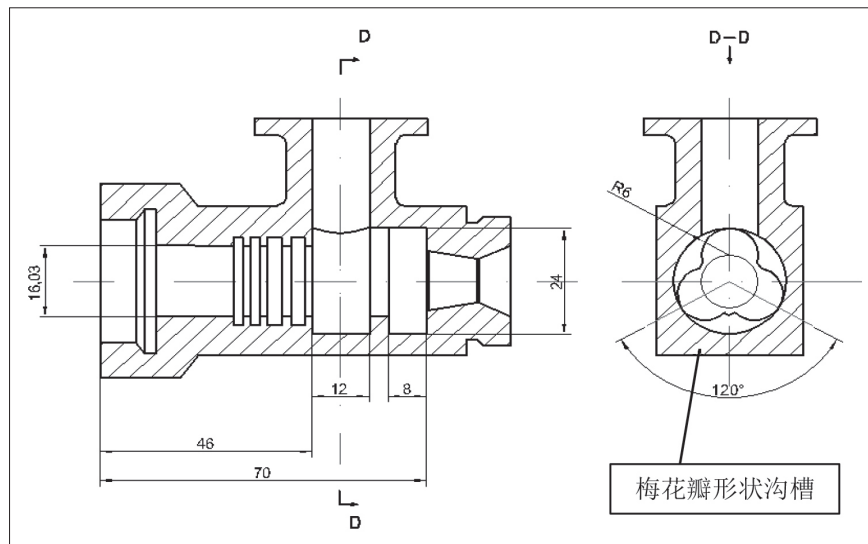


图 1 某型号壳体结构

使用寿命降低,且整个切削过程不能冷却润滑。根据现有生产需求统计,每次投产 100 件某型号壳体产品,在插床加工 3 个均布的梅花瓣槽,每件需要 30min 左右,完成一批约需一周时间。且插槽结束后,产品毛刺极大,必须先利用车床进行毛刺去除,再进行钳工去毛刺。整个生产周期较长。

1.2 研究目的

因插槽方法在多个凹槽的情况下出现多次装夹、拆卸、周转,费时费力。且需要专用刀具找正对刀,易出现歪斜,导致产品超差。同时,手工操作劳动强度大,周期长,效率低,一致性差。

本成果的研究目的是通过开发数控车床新功能、优化程序及应用专用刀具,实现以车代插在某型号壳体梅花瓣槽加工上的应用,以提高加工效率及加工一致性,降低劳动强度。

1.3 实施思路与方案

目前,利用以车代插的技术完成某型号壳体内腔 3 个均布的梅花瓣槽的加工,具体方法如下。

通过开发三轴数控机床先进的自动分度功能及优化程序,实现车床刀具的往复运动功能及主轴卡盘的分度和锁紧,以代替插床的加工方法。主程序先将插槽刀定位到安全点,然后移动到加工位置附近,再调用多次子程序。具体子程序如下:

```
G1 G98 U0.12 F50 ;
G0 Z-67 ;
G1 U-0.02 ;
G0 Z-55 ;
M99
```

可编制上述子程序,在主程序中反复调用,使程序结构简单,易于编制。加工时主轴锁紧,调用的次数根据最终尺寸及每次进给量计算可得。1 个梅花瓣槽加工完成后,利用程序解锁主轴,旋转 120° 后再次调用子程序加工第 2 个梅花瓣槽。循环操作,直至加工完成。通过数控参数完成插槽,插槽行程不受限制,参数可调。加工过程完全数控自动化,不需要手动进刀、分度。经统计,加工 1 件产品的 3 个梅花瓣槽仅需 8min。

装夹加工时,先利用螺纹胎装夹产品(图 2),然后将专用的插刀(图 3)安装在机床刀塔上进行找正,接着通过旋转机床 C 轴将工件平面 H 处(图 4、图 5, H 平面用网状线绘制)与机床 X 轴打表找平行。找正时,将杠杆百分表固定在机床刀塔上, X 轴需做正负向的移动,调整机床 C 轴的旋转角度,直至 X 轴与工件 H 面处于平行位置,最后在坐标平移界面将 C 轴对零,就

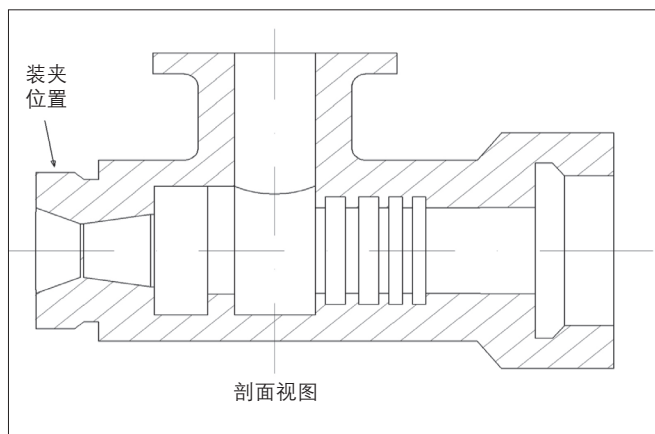


图 2 产品剖面图

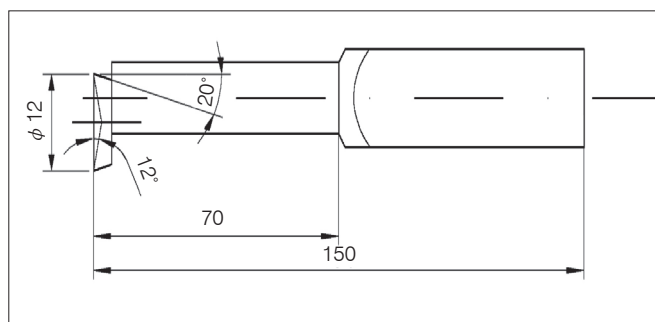


图 3 刀具图

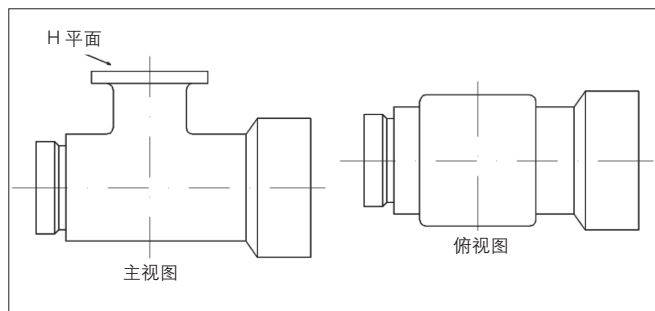


图 4 视图位置

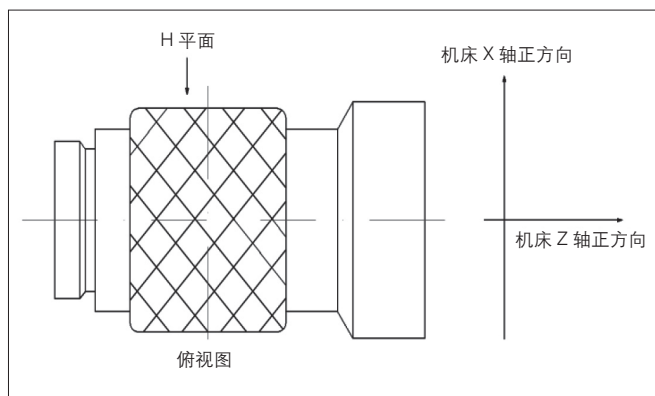


图 5 找正示意图

可将工件找正。此方法简便快速,装卸方便,容易操作。

实际加工时,梅花瓣槽的加工工序可嵌入内腔的加工流程中,实现一次装夹,一次加工完内型及梅花瓣槽。

加工完内型后，直接调用以车代插程序完成槽的加工，然后利用槽加工刀去除大量的插槽后毛刺，最后利用钳工去除槽边少量毛刺，即完成了整个内腔的加工。

通过合并流程工序，减少了周转及装夹准备时间，将设备利用率提高至 92%。在加工过程中，充分利用数控机床冷却液进行冷却润滑，刀具磨损减少，提高了刀具的使用寿命。一把专用插刀，即可完成一批上百件产品的加工。

2 创新（改进）要点

通过以车代插在某型号壳体内腔花瓣槽上的加工，极大地提高了该产品的加工效率，单插槽工序加工时间由之前的 30min 缩短至 8min，减少了约 70% 的加工时间；优化缩短了产品生产周期加工流程，由之前的 5 个工序合并至 1 个工序进行，减少了周转及装夹准备时间成本；极大地降低了操作者的劳动强度，由之前的手工操作替换为数控程序加工，省时省力；降低了刀具的磨损程度，提高了刀具的使用寿命，降低了该工序零件的超差品概率。以车代插技术加工的产品经检验合格，符合蓝图要求。

3 应用情况

成果应用前后单件产品加工数据统计如下表所示。

表 成果应用前后单件产品加工数据统计表

改进阶段	时间	设备利用率	加工工序数	劳动强度
技术改进前	30min	42%	5	手工操作占比 50% 数控加工占比 50%
技术改进后	8min	92%	1	手工操作占比 5% 数控加工占比 95%

4 推广前景

本成果所提到的以车代插技术在壳体内腔凹槽加工上的应用，打破了传统常规型号加工装夹的方式，走出了旧设备、旧工装、旧方法的延续模式。随着车间数控加工的普及化，开发数控程序先进的功能来实现

旧设备的功能是一种新颖且值得推广的技术，本革新就是典型的示例。本革新以车代插的方法通过在某型号壳体梅花瓣槽上的加工进行了验证，证明了该方法的可行性、高效性。同时，该方法给相同结构内腔凹槽的众多零件提供了借鉴思路，值得推广应用。如图 6 所示，某型号启动阀配套的产品利用该技术方法将铣床不能加工的两个槽的加工效率提高了 5 倍。后续将继续进行推广扩展。

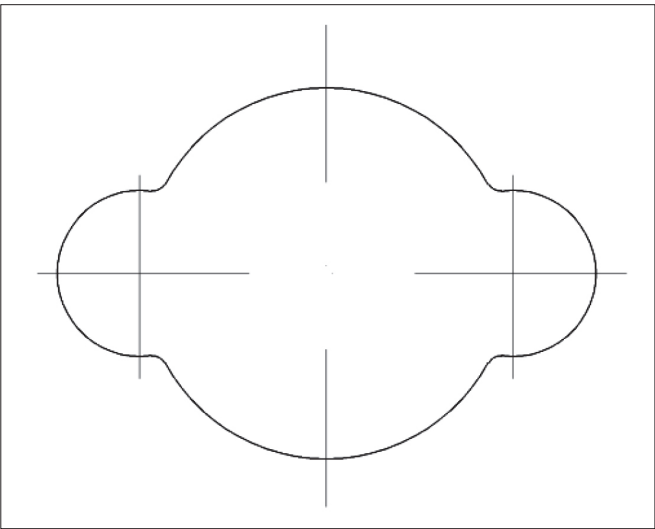


图 6 启动阀产品内腔凹槽结构示意图

参考文献：

[1] 殷铭. 手动键槽插削装置的设计 [J]. 内燃机与配件, 2020(1): 95-99.
[2] 韦守造. 数控车床在孔内键槽加工的应用 [J]. 职业, 2013(14): 95-96.
[3] 卢闪闪, 胡树武. 数控车床插削工艺探讨 [J]. 金属加工 (冷加工), 2013(8): 62-63.
[4] 单健君, 顾丽敏. 基于 CAM 技术的花瓣型曲面的自动编程加工 [J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2015(5): 45-48.

作者简介：高峰（1991.11-），男，汉族，本科，高级工程师，研究方向：航天产品机械加工。