

提高花键加工精度的工艺研究

杜方平, 杨大利

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 发动机中力及扭矩的传递全部通过渐开线花键副来实现, 由于发动机工作转速高, 因而要求渐开线花键副传动非常平稳。通过本工艺方法的探索, 采用新的工艺加工方法, 提高了涡轮泵叶轮、轴的花键加工精度, 保证了涡轮泵装配性能的要求。

关键词: 花键; 精度; 工艺研究

中图分类号: V463

文献标识码: A

文章编号: (2009) 02-0037-05

Technological research for improving spline precision

Du Fangping, Yang Dali

(Xi'an Space Engine Factory, Xi'an 710100, China)

Abstract: Involute spline pairs are used to realize stationary transmission of force and torque of important components for high rotating speed turbopumps. It is found that the improvement of machining methods can improve spline machining precision of turbopump impeller and shaft, thus it can significantly enhance qualified rate, satisfy turbopump assembling performance requirements and reduce engine vibration.

Key words: impeller and shaft; spline precision; technological research

0 引言

以往内花键加工采用插花键方法加工, 外花键加工采用滚花键方法加工。以二级泵叶轮与轴

组件为例, 采用这样的加工方法效率低, 精度常达不到要求, 造成产品大面积超差。经过工艺研究, 找到了提高键开线花键精度的方法。即二级泵叶轮采用拉削方法加工, 轴组件采用滚花键后再磨花键方法加工。经检测, 高强度不锈钢的轴

收稿日期: 2008-10-28; 修回日期: 2009-01-10。

作者简介: 杜方平 (1968—), 男, 高级工程师, 研究领域为火箭发动机涡轮泵工艺。

组件外花键精度达到了4级,远远高于6级标准要求,装在轴组件上的离心轮前后密封肩跳动量从原来的0.08mm降低为0.03mm,约下降了63%,有效的降低了震动;二级泵叶轮小孔径内花键精度达到了6级。达到了标准要求。在此基础上成功地参加了热试车,取得了良好的效果。

1 新工艺花键加工研究

1.1 内花键加工研究

选择二级泵叶轮作为研究对象。二级泵叶轮是由叶轮和前盖板分别经过数控加工成型后,再组合钎焊而成,在叶轮轮毂内加工花键。其材料为锻件6A02 (LD2),热处理固溶时效。结构特点是:花键位于零件中间,模数小,没有专用的测量工具,不便于花键加工和测量,粗糙度不容易保证。零件图纸技术条件要求为INT26Z \times 1m \times 30R \times 6H,按GB/T3478.1-1995《圆柱直齿渐开线模数基本齿廓公差》加工。即:零件为内花键,齿数为26,模数为1,压力角为30°,圆齿根,精度为6级。二级泵叶轮简图如图1所示。

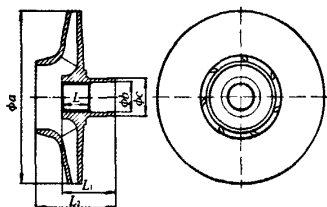


图1 二级叶轮

Fig.1 Secondary pump impeller

二级泵叶轮原采用插齿方法加工花键。由于内孔较小,采用插齿加工内花键时,看不到需加工的内表面,只能采用试切加工,这样反复多次,会造成加工误差;在刀具制造中,齿顶很难加工成为圆齿,造成加工出的零件为平齿根,不符合设计图纸要求,同时,刀具齿数选择不合适,也会造成顶切;在测量时,由于没有专用的测量工具,测量棒放入花键齿槽中时,卡尺很难准确测量,原因是花键位于零件中间部位,距端面距离较远,测量棒需伸出齿槽外卡尺爪才能接

触到测量棒,而测量棒又无法固定在齿槽中,测量受力时,一端很容易翘起,造成测量不准确而引起测量误差;由于结构原因,不能磨齿,因而也否定了预插齿再磨齿来提高花键精度的方法;基于以上原因,长期以来零件达不到设计图纸6级精度的要求。

为了提高工作可靠性,减小振动,有必要对叶轮花键加工方法进行研究。经过反复探索,采用拉花键的方法加工二级泵叶轮内花键。拉削加工是利用只有主运动,没有进给运动的拉床,依靠拉刀的结构尺寸变化,加工各种形状的内外表面。由于同时参加工作的刀齿较多,一次加工能完成粗、精加工,生产效率较高;还可获得较高的表面质量,拉刀耐用度高。对拉花键精度影响较大的有刀具、工装、机床及工艺方法等。

刀具:在设计制造刀具时,拉刀外型及齿是采用磨齿加工方法制造的,可以使刀具加工达到很高的精度,刀具经过磨齿加工,保证了每一个刀齿的精度,从而保证零件的加工精度;磨削拉刀外圆以及刀齿时,以拉刀两顶尖孔为定位基准,因而保证了刀具的顶尖与刀具外圆和齿同轴;刀具前端锥度可使拉刀穿过零件时自动定心,从而保证了拉刀与零件的同轴,避免因偏心而影响花键加工精度。

工装:加工零件时,需要用刀具夹头夹紧拉刀,目的是卡住拉刀的柄部,引导拉刀将工件切削成型。刀具夹头由2个半圆部分组成,分别装入拉床附件中,拉床附件中的弹簧夹头夹住刀具夹头。刀具夹头的内孔直径、长度及倒角与拉刀柄部尺寸相同,并与之相配合,确保刀具夹头与拉刀之间的贴合紧密,使工作过程中不致脱落而导致加工失败。为了使得零件定位面贴紧拉床的表面,设计制造一个过渡盘,目的是保证零件与拉刀的垂直,同时,又不使零件落入拉床的主轴孔中。过渡盘内孔要确保拉刀通过,外圆与拉床主轴孔相配,且与 $\Phi 180$ 外圆相垂直,以保证拉刀与零件的垂直。为避免过渡盘与拉床不能紧密贴合,过渡盘需加工内环槽,避免因存在圆弧而造成零件不能紧密贴合,同时要求两端面相互平行。刀具夹头及过渡盘如图2、图3所示。

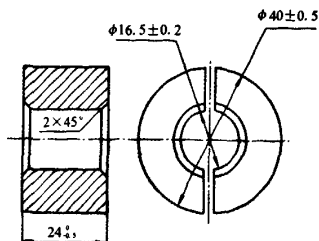


图2 刀具夹头

Fig.2 Tool clamping chuck

机床：由于泵轮零件、刀具自身较轻，使用卧式拉床，并用煤油冷却。

工艺方法:

车工：一次车削花键底孔、内孔、小外圆及外型面，保证花键底孔与内孔同轴，与端面垂直。

车工：车内外端面及外型面，保证两端面与内孔垂直度、两端面平行度。

钳工：定位盘装入机床定位孔中，拉刀头装入机床夹紧装置中；产品预先穿在拉刀上，定位基准与工艺基准一致；拉刀夹紧在机床上，机床尾顶尖顶住拉刀顶尖孔进行加工。拉削速度为

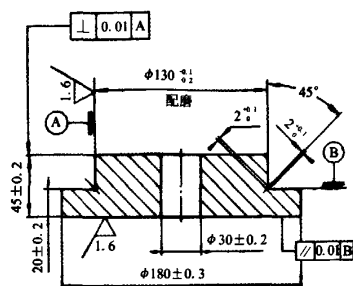


图 3 过渡盘

Fig.3 Transition plate

5m/min。之后，拉刀返回原始位置，自动松开。加工中要特别注意：机床启动之前，必须润滑排气，以免床身抖动而影响零件粗糙度；为保证零件精度，零件与定位盘要贴合紧；在拉削过程中，需要手工推动尾顶一直跟随拉刀，至少需要过拉刀长度 2/3 才能松开尾顶。在加工下一个零件之前，必须将定位盘擦拭干净、同时用钢刷刷净拉刀刀齿及刀槽中的碎屑，以免将零件挤伤或影响其表面粗糙度。

1.2 外花键的加工研究

选取典型零件轴组件为例。轴组件见图4。

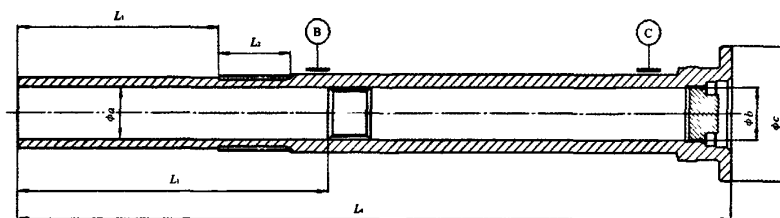


图 4 轴组件

Fig.4 Shaft assembly

轴组件材料为 S-07 钢经固溶处理, 冷处理及回火, 零件硬度较高, 加工困难。花键参数为: EXT: 33Z \times 2m \times 30R \times 6h。花键上装有诱导轮和离心轮。轴组件内外花键同轴要求 0.02mm, 加工过程中难以保证, 需要建立共同的基准。由于过去加工一直采用滚花键加工, 零件的制造精度取决于滚刀的制造精度、机床的精度以及工艺方法。由于滚刀制造时, 不可能达到很高的精度, 从而制约了轴组件外花键的精度, 影响装配质量, 进而影响涡轮泵的整体性能。

经过对零件研究, 采取了在轴毛坯状态时, 零件进行热处理。在加工内花键底孔时, 保证内孔与外圆同轴; 在加工外花键时, 采用滚齿后再磨齿的工艺方法。磨花键加工是花键精加工的一种方法, 和其他一些精加工花键的方法 (如剃、珩等) 比较起来, 具有很多优点, 如剃、珩的加工精度与花键的预加工精度关系很大, 它们对花键预加工时的某些误差纠正能力较小, 并且剃花键不能加工热处理淬硬的花键。磨花键不仅能够加工淬硬的花键, 而且能够纠正花键预加工的各

种误差，缺点是生产成本高，要求操作技术较高。轴组件硬度较高，预加工精度较低，适用于磨花键方法加工。通过磨齿加工，能大幅度提高花键精度。

磨花键时，两端内孔用堵头顶住，并打顶尖孔，两顶尖定位，调整分齿挂轮、滚圆盘及支架高度。采用 0.3mm 厚度钢带。砂轮直径 50mm，粒度 60，白刚玉。

2 精度分析

2.1 内花键的精度分析

为了验证拉刀是否合格及工装是否可行，依据零件图纸精度及尺寸要求，加工 4 个试件，其内孔直径及花键底孔直径与零件相一致，外圆直径为小端外圆直径。材料、热处理、锻造状态与零件保持一致。通过试加工后，粗糙度达到设计图纸要求（目测检查）。三坐标检测，精度也达到了设计图纸要求。检测结果如表 1 所示。

表 1 三坐标检测结果
Tab.1 3D measuring results

测试项目及允差/ μ	试件实测值/ μ			
	1#	2#	3#	4#
齿形误差 30	13.8	12.2	11.1	10.1
齿向误差 13	12.2	12.6	6.6	11.8
径向跳动 25	17	17.2	14.1	14.2
周节累计误差 44	42.5	42	35.5	43.8

经试件加工后，加工零件首件，检测结果如表 2 所示。

表 2 零件检测结果
Tab.2 Spare parts measuring results

齿形/ μ (允许 30)	齿向/ μ (允许 13)	径跳/ μ (允许 25)	周节累计/ μ (允许 44)
实测 12.2	实测 13.2	实测 16	实测 42

2.2 拉花键精度分析

2.2.1 拉刀对精度的影响

花键拉刀由专用磨齿机加工成型，磨削时采用的是两顶尖对顶磨削，这样可以保证拉刀刀齿与顶尖的同轴。由于磨齿可以加工出高精度的花键，从而保证拉刀的精度，进而保证了零件的精度。

2.2.2 设备对精度的影响

拉床的主轴孔与拉床的尾顶尖同轴，拉床的尾顶尖顶住拉刀的顶尖孔，拉刀的另一端夹在拉床的主轴孔上，这样在加工过程中拉刀尾部不会下垂；而零件在拉刀上自动定心，从而保证零件与拉刀的同轴，并与端面的垂直。

2.2.3 测量误差

零件检测时，端面和内孔建立坐标系，与加工基准一致，消除了测量误差。

通过对以上试件和零件的检测结果分析，采用拉花键方法，极大地提高了精度，且零件加工后稳定性好，零件的一致性良好。

2.3 外花键的精度分析

采用滚花键加工时，花键精度在 8 级，安装在轴组件上的离心轮前后密封肩跳动量为 0.08mm 左右；采用滚花键+磨花键方法加工后，花键精度为 4 级，离心轮前后密封肩跳动量为 0.03mm，约下降了 60%。有效地降低了震动。

3 结束语

通过工艺攻关研究得出：合理的工艺流程，保证了在最短的时间内，以最小的成本生产出合格的产品。磨花键技术也可应用于后续液氧/煤油发动机燃料泵主轴的花键加工；二级泵叶轮的加工成功地运用了拉花键法，克服了零件内孔尺寸小，不便于加工及测量的难点；精加工定位工装成功的设计及生产，完全克服了零件变形问题。极大的提高了生产效率和零件的精度，降低加工成本，今后的二级泵叶轮加工均可采用此种方法加工，同时为相似的一级泵轮（为铝合金零件）内花键加工，加工提供了技术支撑和保证。

(下转第 62 页)

管墩(架)处。

2.8 设置防火防爆安全装置

在容易发生超压爆炸的管道、容器上设置安全阀等防爆卸压装置;在容易造成火焰传播的管道上设置水封、砂封、阻火器或防火阀。在高压和低压系统之间的接点处和容易发生倒流的管道、容器上设置止回阀和切断阀。在泵和阀门的进口装管道过滤器,防止杂质或夹杂物造成事故。具有着火爆炸危险的输送管道或储存容器,可采用惰性气体(如氮气)进行正压保护。在易燃、易爆气体容易聚集的地方,设立排气通风装置。可燃气体的尾气排放管线应采用氮气封或设备阻火器等防止火势蔓延的装置。火灾危险性较大的密集管网系统用可燃气体浓度检测报警装置,及时发现火险隐患,用水喷淋等灭火设施,及时扑救初起火灾。

2.9 采用临界直径

单组元的推进剂爆炸时,所产生的爆轰波可以沿管子轴向传播。但当管子直径小于其临界直径时,爆轰波就不能稳定地传播,传播一小段距离后便自动熄灭。因此,单组元的推进剂的临界直径,对选择安全的输送管道或消爆管具有实用意义。例如,在发动机和贮箱之间,选用一段小于临界直径的管子作为消爆管,当推进剂在发动机中发生爆炸时,就能避免贮箱中推进剂发生爆

炸。

3 结束语

从液体推进剂火灾爆炸事故主要原因出发,对其事故类型进行了归纳分析,把事故分为五种类型。可以看出,液体推进剂其事故成因复杂,涉及到液体推进剂贮存、使用及运输的各个环节,液体推进剂火灾爆炸事故比较常发,且后果严重。尽管如此,可以从推进剂管道和容器的安全分布、合理选材及科学设计等方面采取安全预控制措施,防止此类事故发生,保证液体推进剂的安全性。

参考文献:

- [1] 陈新华. 液体推进剂操作危害性评估方法及应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [2] 郑治仁. 液体推进剂防火防爆问题综述 [J]. 中国航天, 2000, (2): 22-24.
- [3] 王建国. 液体推进剂急性中毒诊治研究[M]. 北京: 北京科学技术出版社, 2000.
- [4] 马红宇, 刘站国, 徐浩海, 等. 液氧煤油发动机地面试车故障监控系统研制[J]. 火箭推进, 2008, 34(1): 45-49.

(编辑: 马 杰)

(上接第 40 页)

参考文献:

- [1] 赵如福. 金属机械加工工艺人员手册 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2006.
- [2] 梁国明. 机械工业质量检验员手册 [M]. 机械工业出版社. 1993.

- [3] 詹昭平. 渐开线花键标准应用手册 [M]. 中国标准出版社, 2005, (6).
- [4] 周琴. 高精度喷嘴环斜锥孔加工专用铰刀的研究与应用[J]. 火箭推进, 2006, 32(5): 43-46.

(编辑: 马 杰)