

钎焊式离心轮加工工艺研究

李 波, 刘 赫

(西安航天发动机厂, 陕西 西安 710100)

摘 要: 离心轮水力性能的优劣对泵的效率影响最大, 离心轮加工质量好坏直接影响泵的特性。针对钎焊式离心轮加工的技术要求与技术难点进行分析、研究, 结合现有数控设备对离心轮的加工工艺进行改进、优化及数控加工转化。

关键词: 钎焊; 离心轮; 叶片; 加工工艺

中图分类号: V261-33 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-9374 (2011) 06-0047-05

Technological research on machining of brazed centrifugal impeller

LI Bo, LIU He

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

Abstract: The hydraulic performance of the centrifugal impeller greatly influences pump efficiency, thus the machining quality of the centrifugal impeller directly influences pump properties. Based on the study of technological requirements and difficulties of the brazed centrifugal impeller machining, the process optimization and NC machining of the centrifugal impeller were realized by utilizing the existing NC equipments.

Keywords: brazing; centrifugal impeller; blade; machining technology

0 引言

涡轮泵是液体火箭发动机的关键组件, 有发动机“心脏”之称。离心轮是涡轮泵中的重要零件之一。涡轮泵工作过程中离心轮随泵轴高速旋转, 使工质的动能和压能提高, 在泵出口处达到所需的压力和流量^[2]。离心轮水力性能的优劣对泵的效率影响最大, 其加工质量好坏直接影响泵

的特性。

离心轮按加工方式一般分为两种类型: 整体铸造式和钎焊式。钎焊式离心轮加工精度要求高, 加工难度大, 工序复杂, 因此本文将重点讨论与研究钎焊式离心轮的加工工艺。

1 钎焊式离心轮的结构特点

由图 1 可以看出, 钎焊式离心轮由叶轮和盖

收稿日期: 2011-05-27; 修回日期: 2011-06-17

基金项目: 国家航天高技术项目(2008AA7050405)

作者简介: 李波 (1983—), 男, 助理工程师, 研究领域为液体火箭发动机涡轮泵制造工艺

万方数据

板两部分构成,叶轮上加工有叶片,叶轮与盖板依靠配合曲面严格贴合,叶轮与盖板钎焊组成离心轮。钎焊式离心轮加工精度高,尺寸及形位公差要求严格,具体要求如下所示:

- 1) 前后凸肩外圆 $\Phi D1$ 和 $\Phi D2$ 对基准孔 $\Phi D3$ 的同轴度均要求在 $\Phi 0.01$ mm 以内;
- 2) 定位端面 A 对基准孔 $\Phi D3$ 的垂直度要求在 0.01 mm 以内;
- 3) 基准孔 $\Phi D3$ 、前后凸肩外圆 $\Phi D1$ 及 $\Phi D2$ 的尺寸公差小,仅为 0.015 mm。

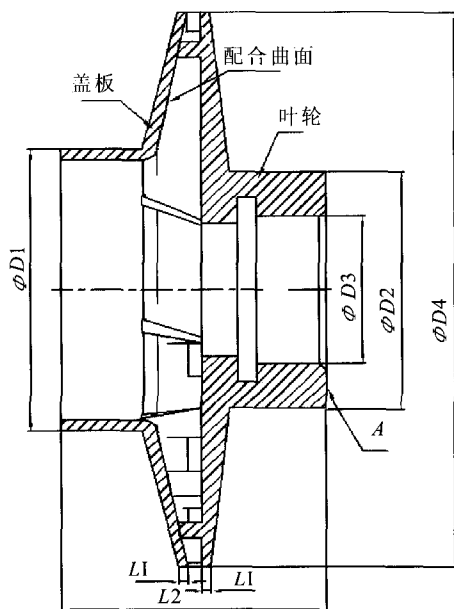


图1 典型钎焊式离心轮结构

Fig. 1 Structure of typical brazed centrifugal impeller

2 钎焊式离心轮加工难点分析

2.1 叶轮与盖板配合曲面加工

钎焊是离心轮加工中的一道关键工序,钎焊质量的好坏将直接影响离心轮的技术性能指标与使用可靠性。

钎焊质量直接受到叶轮与盖板配合曲面加工质量的影响:叶轮与盖板配合曲面型面一致性好,则贴合程度高,间隙小,钎焊缝均匀,缺陷少,钎焊质量高;反之则焊缝不均匀、缺陷多,钎焊质量差。因此叶轮与盖板间的配合曲面间隙要求极为严格,加工难度大。

2.2 叶轮叶片加工难点

图2为典型叶轮结构示意图。该叶轮叶片由6片圆弧形长叶片和6片圆弧形短叶片构成。

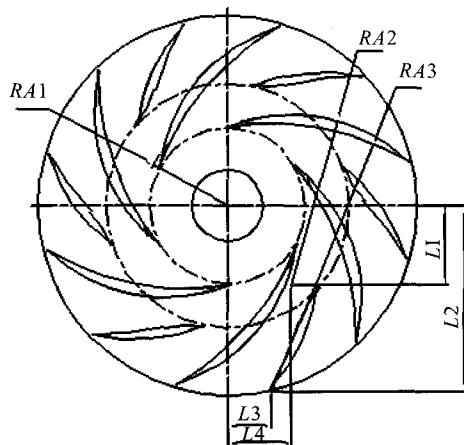


图2 叶轮示意图

Fig. 2 Schematic diagram of impeller structure

为减小离心轮的剩余不平衡量,保证水力试验性能,进而最终保证离心轮在工作过程中高速旋转的稳定性,钎焊式离心轮的叶片要求分度均匀,型面尺寸准确,表面光滑。由于钎焊式离心轮叶轮的叶片尺寸精度高,叶片分布复杂,走刀间隙小,所以加工难度较大。

2.3 离心轮加工难点

离心轮的同轴度、垂直度仅为 0.01 mm,在加工过程中必须要严格保证。因为同轴度、垂直度超差不仅会使泵轮的不平衡量增大,泵轮平衡时打磨去重深度超差,而且会影响最终装配质量,导致泵轮跳动量超差。

离心轮的内孔、端面、前后弧形面及进出口凸肩外圆等尺寸公差同样要求较高,精加工时必须严格保证。

3 加工工艺与流程优化

3.1 叶轮与盖板配合曲面的加工

图3所示为叶轮与盖板的配合曲面。配合曲面原加工方法为:在普通车床上采用成型刀(成型R刀)加工,斜面由刀架扳取相应角度保证。由于刀具型面差异、刀具磨损及机床扳角度时刻

线对照误差等因素, 导致叶轮与盖板配合曲面一致性差, 配合间隙大于 0.1 mm ^[1]。为了保证叶轮与盖板之间的配合间隙与贴合程度, 在配合曲面车加工之后还必须进行配合研磨工序。

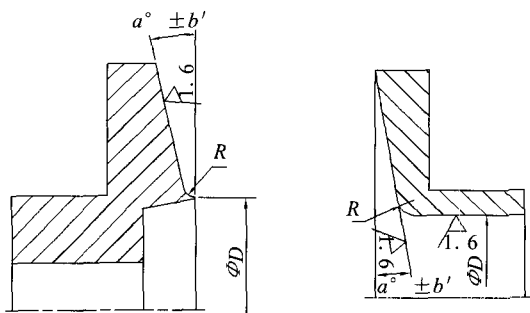


图 3 配合曲面示意图

Fig. 3 Schematic diagram of matching curved surface

现在大量的精密数控车床已普遍使用, 因此可使用数控车床精车叶轮与盖板的配合曲面。叶轮与盖板曲面加工在数控车床上进行, 数控程序采用相同的坐标点, 保证了两配合曲面的尺寸一致性。实验证明, 采用数控加工将配合曲面的坐标点一致化后, 盖板与叶轮贴合程度好, 配合间隙可控制在 0.03 mm 以内, 可以不进行配研工序。以 10 件产品为例, 加工效率可提高 60% 以上, 加工周期可缩短 2 天。

为防止叶轮与盖板钎焊前装配成一体时发生径向错位, 导致配合曲面无法完全贴合, 影响到钎焊质量, 在叶轮加工过程中增加工艺定位销孔。沿盖板外圆均布钻、铰 $3-\Phi 3$ 定位销孔, 销孔尺寸公差要求在 0.02 mm 以内, 定位销与销孔采用过渡配合, 销孔分度圆 Φd 与叶轮中心孔 ΦD 同轴度保证在 $\Phi 0.02 \text{ mm}$ 以内。叶轮与盖板装配成一体后, 装配定位销限位, 定位销如图 4 所示。采用此定位销限位的方法能防止叶轮与盖板间的位移错位, 使配合曲面贴合良好, 保证了钎焊质量。

3.2 叶轮叶片加工

由于钎焊式离心轮一般用于高转速涡轮泵, 因此要求其叶片形状准确, 尺寸精度高, 不平衡量小, 故多采用铣削加工以保证各项性能要求。

叶轮叶片加工通常采用普通立式铣床进行铣削加工。为了满足装卡及加工需要, 需设计制作专用的偏心夹具, 结构如图 5 所示。回转中心纵坐标 B 与横坐标 A 偏移值与叶片圆弧中心偏移值相同, 依靠叶轮端面工艺定位孔分度, 工艺孔数量与叶片数相同。

使用偏心夹具铣加工叶片加工效率低, 精度差, 且无法通用, 对于每一种不同型号的叶轮产品均须设计制作相应的专用夹具, 生产成本大。

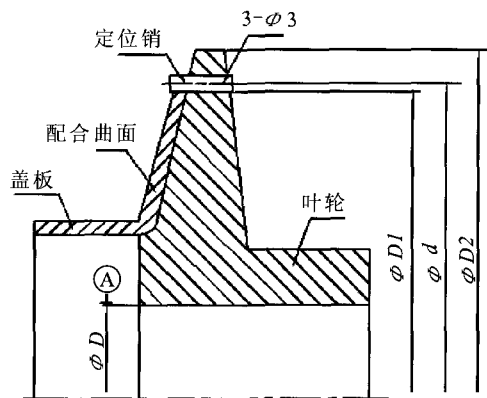


图 4 定位销示意图

Fig. 4 Schematic diagram of positioning pin

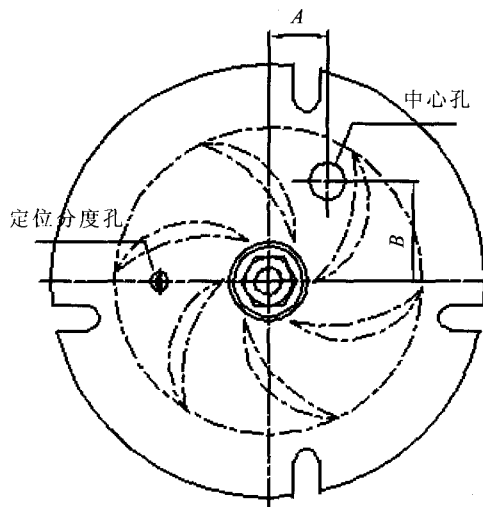


图 5 铣叶片偏心夹具

Fig. 5 Eccentric clamp for blade milling

针对目前的先进设备, 对叶片的加工进行数控加工转化, 以提高质量与效率。加工设备选择 Spinner TC82-MC, BridgePort VMC800 等, 编程方式采用 UG 数控编程技术。

针对叶轮的结构特点与材料特性,对叶轮数控编程进行分析。叶片加工须分为粗铣、半精铣及精铣三个加工步骤。

1) 粗铣可以使用较大直径的立铣刀,加工方法选择“型腔铣”,切削方式选择“跟随工件”,步进设置为刀具直径的 80%。钎焊式离心轮材料多为锻铝,因此切削深度可设置为 1 mm,粗铣留余量 0.5~0.7 mm。粗铣使用大直径刀具可去除大部分余量,提高加工效率。

2) 半精铣为减少空切,提高加工效率,应使用 IPW 作为半精加工的毛坯,IPW 为上一工序完成后生成的中间工序模型^[9]。半精加工仍然选择“型腔铣”,毛坯选择粗铣后生成的 IPW,切削方式选择“跟随工件”,步进设置为刀具直径的 50%,切削深度设置为 0.5 mm,侧面留余量 0.2 mm。图 6 是某型号叶轮采用 UG 加工粗铣后生成的 IPW。

3) 最后对叶片两侧面进行精加工,加工方法

选择“等高轮廓铣”,可实现对叶片两侧面分层精加工。驱动方式选择“曲面区域驱动”,曲面需选择叶片的两侧面,切削方式设置为仿形轮廓。通过以上的加工方法可实现对常见类型的叶轮叶片数控加工编程。表 1 为某型号叶轮数控编程操作设置与参数选择表。

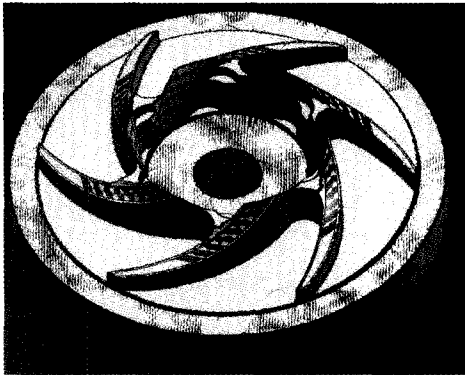


图 6 叶轮粗铣后生成的“IPW”

Fig. 6 IPW generated after rough milling of impeller

表 1 数控编程参数设置
Tab. 1 Parameters setting for NC programming

	刀具	毛坯选择	加工方法	切削方式	步进	切削深度/ mm	余量设置
粗加工	Φ8	毛坯模型	型腔铣	跟随工件	刀具直径 80%	1	0.6
半精加工	Φ6R3	粗加工 IPW	型腔铣	跟随工件	刀具直径 50%	0.5	0.2
精加工	Φ4R2	叶片曲面	等高轮廓铣	仿形轮廓		最大 0.5	

3.3 离心轮加工

叶轮与盖板钎焊后成为离心轮毛坯,对钎焊毛坯件需进行精加工。由于离心轮尺寸公差小,形位公差要求严格,需综合考虑各因素,合理安排工序,并且需设计制作专用工装。

1) 基准的选择及加工

首先对钎焊毛坯件进行粗车,以去除较大余量。但粗车工序基准的选择比较重要,从离心轮的结构和使用要求分析,应以叶轮为粗车基准。

这样可防止叶轮与盖板同轴度偏差、错位等原因影响,导致车偏叶片,影响叶轮水试性能。

离心轮出口端内孔、端面为设计基准,粗车后应首先精车出基准。内孔 ΦD3、端面 A 及出口大外圆 ΦD4 (如图 1 所示) 一刀加工,这样能很好的保证垂直度及同轴度要求。车出精加工基准后软爪装夹精车两端弧面。

2) 前后凸肩外圆加工

从图 1 中可以看出,前后凸肩外圆 ΦD1、

$\Phi D2$ 对基准孔 $\Phi D3$ 同轴度要求为 $\Phi 0.01$ mm, 根据加工基准与设计基准一致性原则, 加工前后凸肩时应以內孔作为定位基准。为满足加工要求, 设计制作了专用的心轴装夹工装, 如图 7 所示。

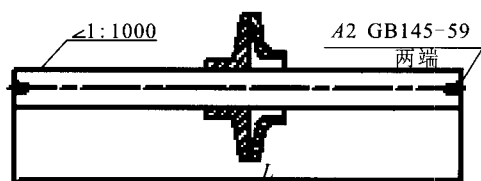


图 7 离心轮加工用心轴示意图

Fig. 7 Mandrel for centrifugal impeller machining

采用心轴装夹, 精车前后凸肩外圆, 保证同轴度要求。精车心轴采用微锥度心轴, 锥度小至 1:1000 甚至 1:2000, 心轴两端打有顶尖孔。车加工时两顶尖装夹, 车前找正心轴两端跳动量在 0.005 mm 以内。采用微锥度心轴装夹加工, 能很好保证前后凸肩外圆对基准孔的同轴度要求。

4 结论

经过对离心轮加工过程的工艺分析, 对技术难点的研究, 结合现有技术条件, 对离心轮的加工工艺进行了改进、优化及数控加工转化。

叶轮与盖板配合曲面加工使用精密数控车

床, 采用一致化程序坐标点, 使配合曲面贴合程度达 90% 以上, 同时采用工艺定位销限位。叶轮叶片加工摒弃了传统偏心夹具铣削加工的方法, 对其进行数控加工转化, 采用 UG 数控编程技术, 优化参数设置, 此加工方法使叶形误差控制在 0.05 mm 以内, 大幅度提高了加工效率。离心轮加工合理选择加工基准, 设计制作专用心轴, 符合加工基准与设计基准一致性原则, 最终加工后各形位公差均满足设计要求, 水试性能良好。

参考文献:

- [1] 黄立德. 发动机制造技术[M]. 北京: 宇航出版社, 1990.
- [2] 张贵田. 高压补燃液氧煤油发动机[M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [3] 刘国球. 液体火箭发动机原理 [M]. 北京: 宇航出版社, 1993.
- [4] 张远君, 王普光. 液体火箭发动机涡轮泵设计[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995.
- [5] 叶南海, 崔向阳, 孙亚宁, 等. UG 数控编程实例与技巧 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2005.
- [6] 萨顿, 比布拉兹. 火箭发动机基础[M]. 洪鑫, 张宝炯, 译. 北京: 科学出版社, 2003.
- [7] 徐鸿. 叶轮数控加工工艺方法研究 [J]. 科技创新导报, 2009, 24: 39-41.
- [8] 陈皓晖, 刘华明. 国内外叶轮数控加工发展现状[J]. 航天制造技术, 2002, 4(2): 45-48.

(编辑: 马 杰)