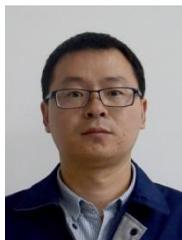


典型非对称零件仿形精磨研究与应用

张博威^{1,2} 孟鑫^{1,2} 杨斌² 吕文静^{1,2} 兰洋² 隋会源^{1,2} 袁娅^{1,2}

(1. 天津市紧固连接技术企业重点实验室, 天津 300300; 2. 航天精工股份有限公司, 天津 300300)



摘要: 磨削加工因加工精度高、表面质量好, 加工质量稳定并适合大批量生产, 被广大制造企业长期使用。磨削采用零件或砂轮回转运动的形式使用砂轮的端面或者圆周面进行磨削工作。而非对称结构的零件由于自身的偏心作用, 在旋转时产生振动或者离心, 对磨削加工的精度和质量有很大的影响, 也是一直以来制约磨削加工精度的重要因素。本文选取了典型的非对称产品, 通过分析零件的结构特点, 设计专用的装夹方案, 并改造专用机床, 结合经验进行加工用量的调整, 最终加工出高质量的合格产品。

关键词: 带杆端轴承外圈; 非对称零件; 仿形磨削; 12CrNi3A; 精度等级

中图分类号: TH161+.1; V464 **文献标识码:** A

Research and Application of Profile Modeling Fine Grinding for Typical Asymmetrical Parts

Zhang Bowei^{1,2} Meng Xin^{1,2} Yang Bin^{1,2} Lv Wenjing^{1,2} Lan Yang^{1,2} Sui Huiyuan^{1,2} Yuan Ya^{1,2}

(1. Tianjin Key Enterprise Laboratory of Fastening Connection Technology, Tianjin 300300;

2. Aerospace Precision Products Corporation, Tianjin 300300)

Abstract: Because of its high machining precision and good surface quality, grinding, as a processing quality way, is stable and suitable for mass production long-term use by the vast number of manufacturing enterprises. Grinding uses the end face or the circumference face of the grinding wheel to grind the part or wheel in the form of rotary motion. Because of the eccentric effect, the parts with asymmetrical structure produce vibration or centrifugal when they rotate, which has a great influence on the precision and quality of grinding, it is also an important factor that restricts the precision of grinding. In this paper, the typical asymmetrical products are selected, and the special clamping scheme is designed by analyzing the structural characteristics of the parts, the final processing of high-quality products.

Key words: bearing outer ring with rod end; asymmetrical parts; profiling grinding; 12CrNi3A; accuracy class

1 引言

随着航空航天行业的飞速发展, 高质量、高效率、高效益的要求也越来越严格。专用的机床配合合理适当的夹具不仅能够大大提高产品加工的质量, 而且能够有效地提升产品加工的效率, 进而对企业的效益有很大的促进作用。非对称零件的高精度磨削难题一直作为精密制造领域的难点备受关注, 尤其是尺寸较大

工件的高速磨削, 如果处理不当不仅造成被加工工件的精度严重超差^[1], 长时间的偏振离心运动对机床的主轴旋转精度等也会造成不可逆转的影响, 甚至导致机床主轴轴承旋转精度过大而报废。本文选取了一种典型的飞机机体零件一带杆端轴承外圈滚道磨削作为研究对象, 设计专用的机床夹具, 对机床的装夹方法进行改进, 以高速削减磨削非对称结构时产生的危害, 实现该零件快速高精度的磨削。

基金项目: 高端轴承摩擦学技术与应用开放基金(201908)。

作者简介: 张博威(1989), 工程师, 机械设计制造及其自动化专业; 研究方向: 航空航天精密轴承制造技术、工艺管理。

收稿日期: 2023-06-27

2 被加工产品材质和结构特性分析



图1 带杆端轴承外圈整体结构示意图

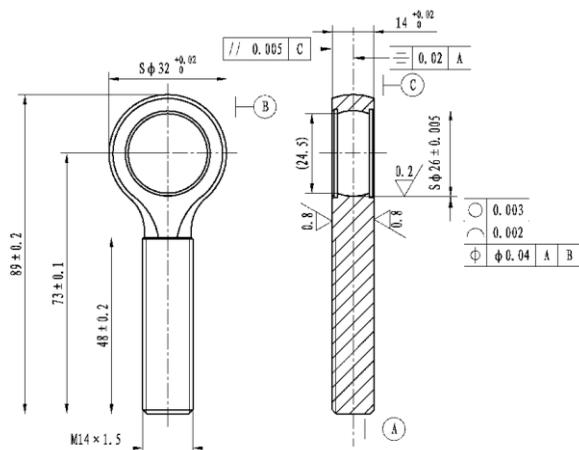


图2 带杆端轴承外圈零件结构示意图

带杆端轴承外圈零件实物如图1所示,零件是由12CrNi3A结构钢材质加工,该材质属于航空用优质结构钢,相比较普通的轴承钢、军甲钢或不锈钢,其具有良好的综合性能,易于渗碳调质并具有优良的冷热加工性能,适合用来制作某些特殊使用要求的高品质产品。带杆端轴承外圈的套圈外径为32mm而非对称的杆部突出 L_2 约60mm,突出处直径为14mm,并有M14的细牙螺纹,不对称的质量约为70g,超过总质量的50%,属于较为明显的非对称产品。对于磨削后的圆度要求0.003粗糙度 $R_a 0.2$,轮廓度0.005并且对外表面及螺纹杆部的位置度要求0.04。如图2所示,如此高的形位公差及表面质量采用高速磨削比较容易实现。但是由于被磨削部位属于内圆表面,入口尺寸只有24.5mm,其加工难点相对较大,因此加工过程中的装夹方式与加工参数的选择尤为重要。

由于带杆端轴承外圈磨削加工的精度要求极高、离心质量较大,并且零件的装夹部位壁厚较薄,相对刚性比较差,该材质的零件容易产生较大形变^[2],产品磨削时会出现磨削质量偏低、表面质量不稳定现象,

因此该产品属于相对典型的精度高、要求多、加工难度大的产品。

3 专用工装方案设计与仿真分析

根据带杆端轴承外圈零件产品材质、结构特性与精度要求,对磨削工艺流程和装夹方式进行设计与分析,以满足产品最终性能的要求。

3.1 磨削方式的选择

由于外圈的内孔较小,被磨削面为内球面,并且粗糙度和形位公差要求较高,采用机床主轴正常旋转,磨削砂轮使用70000r/min的高速电主轴,电主轴配合伺服电机进行轴向和径向进给的方式进行仿形磨削。磨削砂轮使用专用的金刚笔进行修整,金刚笔将砂轮磨削面修整为固定直径的规则外球面。将修整后的砂轮按照上述方式进行仿形磨削加工。最终确定为仿形磨削,因为仿形磨削具有加工精度高,易于尺寸控制,表面质量好且稳定等优点。

3.2 偏心的控制方法

鉴于零件的偏心较大,在磨削时零件旋转的情况下,旋转在带螺纹杆的底部采用弹性支撑的方式,根据机床主轴转速与偏心质量调整弹簧的支撑力,使工件在磨削时偏心部位产生的离心力与弹簧弹力相等,以达到等值抵消的目的。而在零件安装在磨削工装时,将零件安装后配合销轴定位,定位完毕后移除销轴再启动设备主轴,以确保零件在工装上径向安装的位置度要求。

3.3 轴向和径向定位方式的选择

零件的轴向采用套圈端面支撑靠紧后压板施压的方法,将零件的轴向进行定位压紧,然后拧紧轴向螺栓进行紧固。零件的径向采用3.2章节中弹性支撑的方法进行径向平面内一个方向定位,另一个方向依靠轴向施加的压力产生的摩擦力进行定位,轴向径向全部定位后移除定位芯轴。

3.4 对初步方案设计进行分析

根据磨削工装的设计构思的方法,将设计思路转化为模块化的三维模型。图纸简化了螺钉、弹性支撑等机构,初步将抽象的设计思路具体地体现出来,如图3所示。将模块化后的三维模型进行网格划分,如图4所示,并根据零件在工装上整体工况进行有限元分析,得到在磨削工况下应力和应变的云图,如图5、图6所示。通过有限元分析的云图,可以了解到整个工装装夹工件后在机床上的运转情况下应力与应变情况。即在机床高

速旋转的作用下,该工装在装夹零件之后,产生的应力应变最大和最小位置集中在压板与工件的接触处;高速旋转下的最大位移集中在螺纹杆部对应的孔的另一侧,有限元分析的位置与实践常识认知相符合。

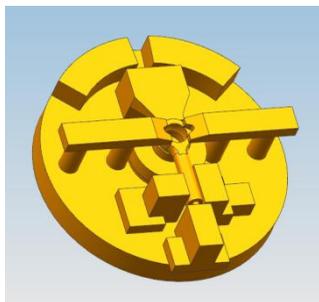


图3 零件仿形磨削装夹示意图

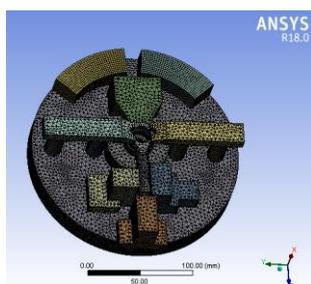


图4 对设计的三维模型进行网格划分

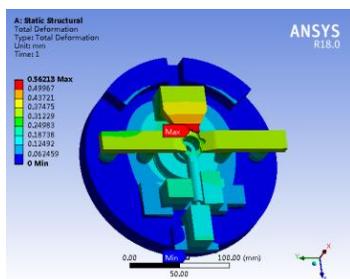


图5 零件在磨削旋转工况下应力图

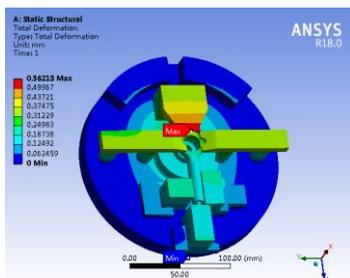


图6 零件在磨削旋转工况下应变图

根据物理定律可以知道,通过不断地调整支撑螺杆弹簧的支撑力,以达到抵消正常磨削转速下产生位移的离心力,使工件的理论磨削圆心与机床主轴的回转中心重合的方案是可行的。

其中,正常回转体偏心部分的质量 M_1 ; 偏心部分的质心到机床主轴的径向距离 L ; 机床主轴正常磨削时的转速 v ; 支撑弹簧的弹性系数为 k ; 安装零件后弹簧的变形量为 Δx ; 因此,产生的离心力 $F_1 = M_1 \cdot v^2 / L$; 而支撑弹簧的支撑力符合胡克定律,即支撑力 $F_2 = -k \cdot \Delta x$ 。只需满足 $F_1 = F_2$ 即可实现在运转磨削状态下零件的动平衡。

因此,只需要在实际生产中不断调整支撑螺杆弹簧的位置以达到调整弹簧支撑力的大小,使其最终满足 $F_1 = F_2$ 。

4 专用机床的实施与加工效果评估

4.1 机床工装方案的确定

经过对零件材质和特性的分析和轴向径向的安装定位思路,结合有限元计算结果,并根据胡克定律调整弹簧的粗细与形变量之后,将理论工装夹具进行实施,最终得到了如图7、图8所示夹具。通过不断对前期设计阶段的方案优化及参数优化,最终实现了运转状态的平衡,成功将非对称零件的磨削转化为了与普通回转体无差别的磨削方法。

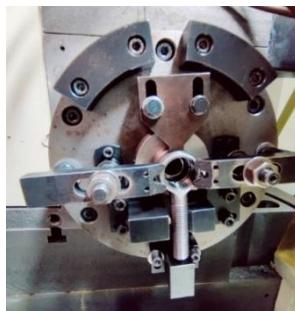


图7 工装正视图



图8 工装左视图

4.2 机床加工用量的选择

带杆端轴承外圈零件材质为航空用优质结构钢12CrNi3A,磨削前对磨削滚道进行了渗碳-淬火-回火的热处理,使其硬度达到58-62HRC,因此该磨削属于较为典型的高硬度磨削。由于产品对磨削的表面质量和精度要求较高,磨削工艺参数的选择和磨削用量的选择显得尤为重要。不同的加工方法和磨削流程对于磨削效率、精度及表面质量的影响较大,应通过大量的试验对比和一系列的产品验证最终将加工流程进行确定^[3]。根据产品的外形特征,采用不同的加工方法进行生产调试,最终决定采用粗磨和精磨两个工步进行磨削。为了不破坏零件的对称度等其他指标要求,需

要采取一次装夹,配合数控程序改变磨削用量的方式进行加工。磨削用量如表1所示。

表1 磨削用量表

工序名称	主轴转速 /r·min ⁻¹	电主轴转速 /r·min ⁻¹	进给量 /mm·r	去除量 /mm
粗磨	500	70000	0.008	0.08
精磨	800	70000	0.004	0.04

在不同规格产品实际磨削过程中,应随时观察工件加工余量情况调整磨削参数,特别是磨削余量较小的首件调整的情况下,随时根据实际情况进行调整,必要时采用超精加工以提高加工精度与表面质量^[4]。

4.3 仿形磨削部位精度检测与加工效果的评价

每批次零件通过首件调整后进行批量加工,零件加工完毕后的效果是否能够满足产品要求需要对零件进行检测。为了更加直观地表现磨削后零件的表面质量与精度检测情况,本次采用泰勒公司高精度的轮廓

仪和圆度仪进行检测^[5]。经过对不同批次的产品进行检测,结果表明经过该工装仿形磨削后的零件的各项尺寸及精度指标均满足图纸的要求。其中,零件磨削后滚道椭圆度检测结果为椭圆度(ROnt值)2.79 μm ,如图9所示;零件磨削后滚道粗糙度检测结果粗糙度值 R_a 约为0.1 μm ,如图10所示;零件磨削后滚道轮廓度检测结果的轮廓度(pt值)约为1 μm ,如图11所示。从以上椭圆度、轮廓度和表面质量的检测结果对比产品的精度要求可知,均满足产品的加工精度要求。

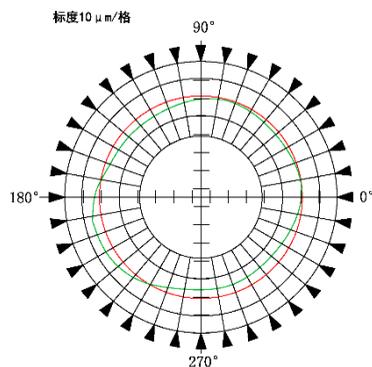


图9 零件磨削后滚道椭圆度检测结果

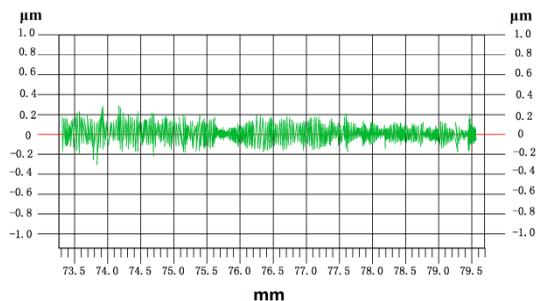


图10 零件磨削后滚道粗糙度检测结果

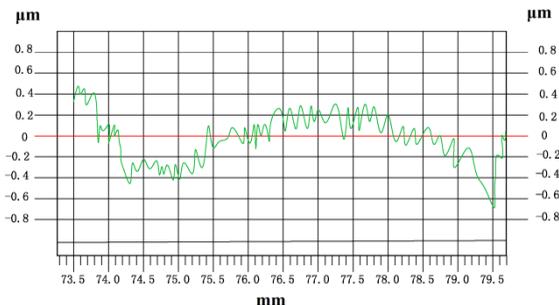


图11 零件磨削后滚道轮廓度检测结果

5 结束语

针对非对称产品的磨削专用工装夹具设计系统产品的结构特点及精度要求进行分析,原有机床床身进行专用化改进。从轴向和径向定位的控制,到各个方向质心分布的均衡,再通过有限元模拟在旋转状态下各个方向的位移、应力和应变的情况,最终保证了产品在机床上的正常安装及成功达到了图纸的各项尺寸及精度要求。本次以成功改进工装夹具的优化设计方案为案例,为航空航天制造业的大批量生产中的非对称磨削加工和非对称车削加工提供了参考范例。

参考文献

- 刘福,刘孟奇,苏怡然,等.曲线磨削受力模型建模研究[J].机械制造,2021(59):69~74
- 张博威,杨斌,单堃堃,等.航空航天高精密法兰盘的加工[J].金属加工,2023(4):38~41
- 周功兵,谢萍,王清标.砂轮主轴磨削参数正交试验研究[J].机械制造,2017(55):6~9
- 黄云,李少川,肖贵坚.航空发动机叶片材料及抗疲劳磨削技术现状[J].航空材料学报,2018(11):154~156
- 张博威,肖琪,杨斌,等.轴承套圈的全球化组织对切削性能的影响[J].金属加工,2022(12):82~85