

基于在线测量改进深盲孔轴承座内孔磨削加工工艺

靳国栋¹, 马磊¹, 李福全², 韩红雨¹, 卢阳¹

1. 洛阳轴承研究所有限公司 河南洛阳 471039

2. 洛阳北方企业集团有限公司 河南洛阳 471039

摘要: 以电动机轴承座零件为例, 针对深盲孔轴承座内孔加工时尺寸精度和几何公差难以控制、易出现锥度超差的问题进行工艺探索, 结合在线测量, 提出了一种采用五轴加工机床磨削深盲孔轴承座内孔的加工工艺。工艺改进后, 内孔加工尺寸精度、几何公差和表面粗糙度均满足设计要求。尺寸精度和几何公差较原工艺更稳定可靠, 加工效率得到较大提升。

关键词: 深盲孔; 轴承座内孔; 锥度; 工艺; 在线测量

1 序言

高精密深盲孔的加工一直是机械加工行业的技术难题, 本文以某深盲孔零件为研究对象, 通过工艺试验, 为深盲孔磨削加工提供一种新方法, 并进行加工应用。

2 产品特性及加工难点

本文介绍的精密深盲孔轴承座为某型号长寿命电动机内重要部件, 主要作用是固定内部零件。电动机芯轴转速极高, 对轴承座的内孔尺寸、几何公差加工要求较高, 其结构如图1所示。

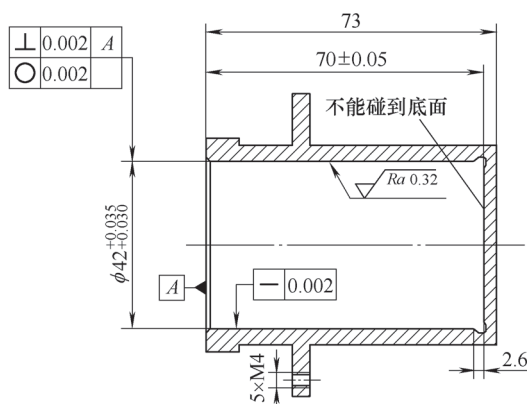


图1 深盲孔轴承座结构

接触轨迹为其几何相切线, 但由于加工误差、安装误差及承载后的形变误差的存在, 会造成摩擦轮副之间的相对位置变化, 产生扭转角和倾斜角。通过对摩擦轮廓形进行修形优化, 可以降低上述误差的影响, 减小扭转角及倾斜角, 同时可以改善接触状态, 提高疲劳寿命。

5 结束语

摩擦轮在传动过程中, 接触区域及两侧影响区同时承受高法向集中载荷及沿切向的周期性拉伸和压缩载荷, 表层材料先压缩后拉伸, 承受交变应力, 疲劳点蚀是其主要失效形式。选用高强度材料通过热处理提高硬度可以提高疲劳寿命, 但在硬度匹配上驱动轮的硬度应高于从动轮, 推荐硬度差

100~120HBW。

参考文献:

- [1] 李洪波, 曹学民, 王保良. 托轮的接触疲劳强度设计[J]. 洛阳工业高等专科学校学报, 2003, 13(3): 19-20.
- [2] 董杰, 程文明, 邵建兵. 基于LS-DYNA的起重机车轮动态接触研究[J]. 煤矿机械, 2014, 35(9): 3.
- [3] 杨鹏, 吴姜玮. 港口起重机轮轨接触应力有限元分析[J]. 中国重型装备, 2008(3): 14-17.
- [4] 王鹏, 吴姜玮. 港口起重机车轮表面硬度对应力场的影响[J]. 中国重型装备, 2011(3): 33-38.
- [5] 任亚峰. 放疗设备大回转架轴向窜动机理及其稳定性研究[D]. 兰州: 兰州理工大学, 2016.

MW 20210721

该轴承座材料为9Cr18Mo，热处理硬度48~53HRC，为型腔结构，形状规则，壁薄，端面为基准面。其加工精度和表面质量要求高，难点在于内孔的加工，要求端面与内孔垂直度 $\leq 0.002\text{mm}$ ，内孔圆度 $\leq 0.002\text{mm}$ ，内孔直线度 $\leq 0.002\text{mm}$ 。盲孔深70mm，退刀槽宽2.6mm。

3 加工工艺及存在问题

内孔磨削加工原工艺：以外径为定位支承，采用电磁无心夹具装夹工件→粗磨内孔→靠底面精磨内孔→靠底面研磨内孔。

该工艺加工内孔无法通过常规设备一次加工合格，只能通过后期研磨保证内孔精度要求。存在加工问题如下。

1) 深盲孔磨削时内孔精度检测难度大，检测频繁。采用常规模拟量规无法对盲孔进行测量；三坐标仪需采用加长测头离线检测，检测效率低；由于内孔精度高，检测时受温度影响较大，不适合工序间的检测。

2) 孔深度大，磨削时易产生锥度、尺寸超差。盲孔较深，采用内圆磨床加工内孔，砂轮轴向移动时易造成砂轮前端比后端损耗大。砂轮接杆受径向切削力弯曲变形等因素影响，使内孔产生锥度，且锥度 ≥ 0.01 ，导致尺寸精度、几何公差无法满足要求。

3) 内孔精度靠手工研磨保证，产品一致性差，易出现划伤现象。采用研磨棒对内孔研磨，留研磨量0.02mm，研磨时易出现喇叭口，内孔直线度要求0.002mm，研磨难度较高，需反复研磨、检测。单件研磨时间约2h，研磨成品需恒温4h检测，效率较低且极易出现研磨划伤现象。

4 工艺改进

为解决根据原工艺进行内孔加工时存在的问题，需对该轴承座的内孔加工工艺进行优化调整。

4.1 设备选择

为满足轴承座内孔表面粗糙度及几何公差的精度要求，拟采用高速（最高转速20000r/min）五轴加工中心进行加工。固定工件后在线测量找正，并调整内孔轴线与端面垂直。采用厚度 $< 2.6\text{mm}$ 的CBN砂轮，将砂轮接杆安装在刀座上，进行圆柱面磨削加工。

在线测量和智能修正技术可自动探测加工基准

面，并动态重建加工坐标系，消除由基准传递引起的误差，自动检测加工余量，减少夹具使用数量，缩短生产周期，降低制造成本。

4.2 加工原理

通过编制加工程序，调用在线检测宏程序，控制流程如图2所示。将感应探头安装在刀座上，运行在线检测宏程序，移动感应探头，当探头与工件接触时，自动记录探头的坐标值。通过多点接触重建工件的检测轮廓，将数据提取到加工程序中进行自动补偿修正，在线检测如图3所示。

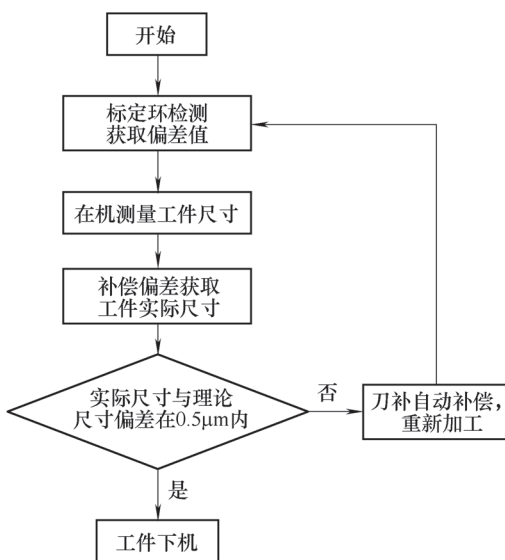


图2 在线检测控制流程

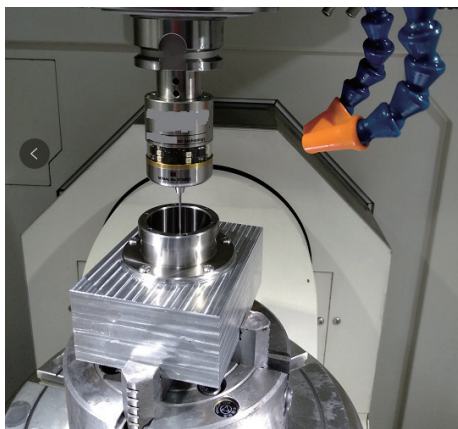


图3 在线检测

同理，自动找正水平面方法为：根据三点定面原理，通过提取探头与平面接触点的坐标值，驱动各轴转动，使三点Z轴坐标相同，保证测量平面与刀具主轴垂直。

加工时首先通过标定检测，确定实际尺寸偏差，修正在线检测数据，为下一工序中吃刀量的设置提供准确数据。过程中通过宏程序自动实现测量补偿加工，无需人工干预，实现产品一次装夹，合格下机。

4.3 装夹方式

若采用常规装夹方式，装夹力对内孔加工影响较大。考虑到工件尺寸精度和几何公差要求，根据外圈结构，拟采用台阶固定的方式装夹工件，装夹方式如图4所示，此种方式可避免零件因装夹变形导致加工超差。

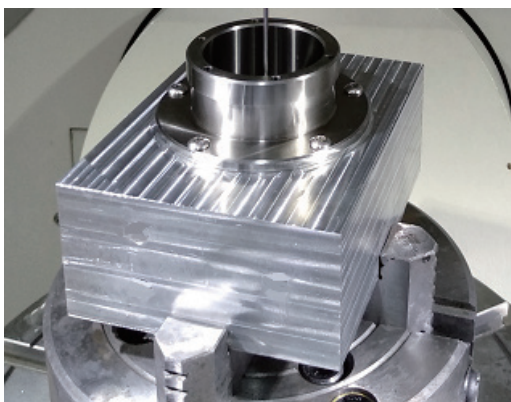


图4 装夹方式

4.4 工艺过程

优化后加工工艺：以外径为定位支承，粗磨内孔→靠底面精磨内孔→靠底面以台阶固定方式装夹工件→粗修内孔→精修内孔。

精磨内孔工序采用内圆磨床，留修磨量0.03mm，控制锥度 ≤ 0.01 。修磨内孔采用五轴加工中心，依靠机床在线检测进行自动调整，使基准面处于水平位置，砂轮轴在小范围内振荡往复磨削，提高表面粗糙度。由于精磨内孔时锥度较大，为避免砂轮前端损耗过大，修磨时分粗修和精修加工。粗修时使用粒度较小的砂轮，增大进给量，提高切削效率，降低内孔锥度；精修时使用粒度较大的砂轮，保证内孔尺寸精度、表面粗糙度，并进一步降低锥度。加工过程如图5所示，采用厚度为2mm的CBN砂轮，磨头高速旋转时，上下运动一个行程（砂轮完全移开加工面），主轴绕工件轴线偏转一定角度，拟合成一个正圆轨迹。

加工过程中结合在线测量技术监控加工余量，

对磨削工艺参数进行设置。粗、精修磨加工参数见表1。

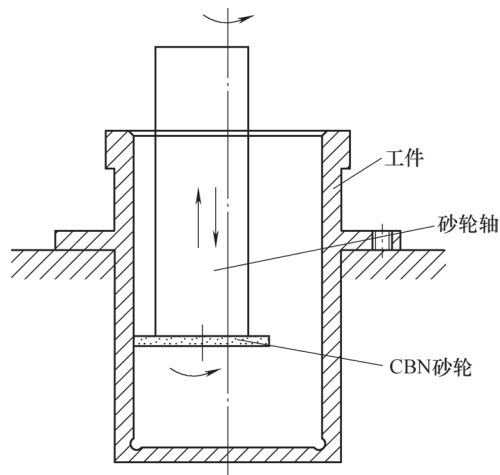


图5 加工过程示意

表1 粗、精修磨加工参数

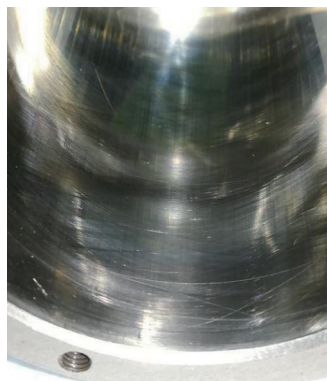
参数	粗修	精修
砂轮直径/mm	30	30
砂轮类型	CBN	
砂轮粒度	100 [#]	260 [#]
接杆直径/mm	20	20
接杆长度/mm	80	80
进刀量/mm	0.008~0.01	0.005
余量/mm	0.03	0.005

根据机床加工能力，3遍粗修+1遍在线检测，以及1遍精修+1遍在线检测，理论修磨时间约95min，远小于研磨0.02mm余量和恒温检测所用时间。

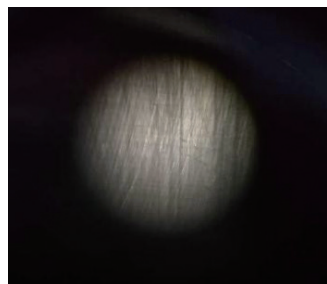
5 效果对比

原工艺与新工艺的加工效果如图6、图7所示。图6a为原工艺加工内孔表面情况，内孔有轴向和周向研磨痕迹，在40倍放大镜下可见加工纹路较细（见图6b），方向不规则；图7a为新工艺加工内孔表面情况，加工痕迹为沿轴向的斑纹，纹路较明显（见图7b），表面一致性较好。

内孔不同深度处直径检测数据见表2。由表2可知：在线检测和三坐标检测数据均符合设计要求，在线检测与三坐标检测圆柱度偏差仅0.0002mm，在恒温间加工、检测时，在机对零件尺寸和圆柱度的检测数据可作为评价依据。

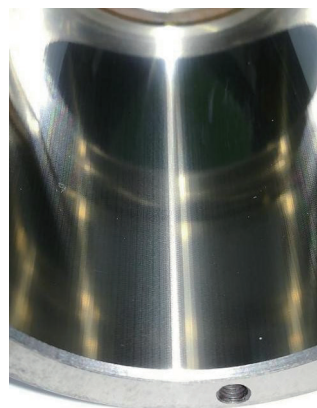


a) 内孔表面情况



b) 加工纹路

图6 原工艺加工效果



a) 内孔表面情况



b) 加工纹路

图7 新工艺加工效果

表面粗糙度检测数据见表3。由表3可知：原工艺采用研磨方法，内孔表面粗糙度优于新工艺，两种工艺加工的表面质量均满足设计要求。

表2 内孔直径检测数据 (单位: mm)

项目	在机检测	三坐标检测
直径1	38.0305	38.03065
直径2	38.0306	38.03087
直径3	38.0304	38.03056
直径4	38.0305	38.03064
圆柱度	0.0016	0.00143

表3 内孔表面粗糙度检测数据 (单位: μm)

项目	要求	1	2	3	平均
原工艺	0.32	0.0342	0.0322	0.0283	0.0315
新工艺		0.0503	0.0661	0.0583	0.0582

综上所述，新加工工艺在尺寸精度、几何公差和表面质量方面均满足设计要求；加工效率高；对尺寸精度、几何公差和表面质量可实现严格控制，降低人为因素对内孔质量一致性的影响，可靠性高；可实现内孔精加工一次装夹、自动检测并合格下机的自动化加工。

6 结束语

本文通过分析精密深盲孔轴承座内孔原工艺存在的问题，提出了工艺改进方法，通过工艺试验及对比分析得出以下结论。

1) 新工艺可实现精密深盲孔轴承座内孔的磨削加工，加工方案合理可行。

2) 新工艺在尺寸精度和几何公差方面较原工艺更稳定可靠。

3) 新工艺采用在线检测、精修成形加工，实现一次装夹加工出合格产品，提高了内孔加工效率。

4) 消除了人工研磨内孔时人为因素对产品一致性的影响，提高了内孔表面一致性。

参考文献:

- [1] 高原, 王晓兵, 赵凯, 等. 大型深盲孔在线检测与自适应加工技术应用研究[J]. 新技术新工艺, 2015 (8): 20-24.
- [2] 刘壮壮, 周鹏. 航空筒体类零件的典型加工工艺[J]. 金属加工 (冷加工), 2019 (2): 71-74.
- [3] 王世清. 深孔加工技术[M]. 西安: 西北工业大学出版社, 2003.
- [4] 田军, 袁南南. 高精度气体静压轴承内孔研磨工艺[J]. 机床与液压, 2016 (8): 179-180.
- [5] 李琳, 冯美君. 五轴数控机床几何误差的建模与补偿技术[J]. 新技术新工艺, 2014 (1): 18-22.