

doi: 10.3969/j.issn.1001-3849.2019.07.001

GCr15轴承内圈磁粒研磨光整实验

刘冬冬, 韩冰, 陈燕, 胡玉刚

(辽宁科技大学 机械工程与自动化学院, 辽宁鞍山 114051)

摘要: 利用磁粒研磨加工工艺对轴承内圈进行光整加工实验, 以降低其表面粗糙度值为目的, 通过Ansoft Maxwell磁场模拟软件对磁极三种形状进行仿真分析, 得到磁极开轴向槽磁场强度大, 在此基础上研究了磨料粒径、磁极转速和研磨液用量对表面粗糙度值的影响。结果表明: 当磨料粒径为185 μm 时, 磁极转速为600 r/min、研磨液用量为6 mL, 光整加工60 min, 轴承内圈的表面粗糙度值由原始的0.51 μm 下降至0.10 μm , 表面的划痕、刀微纹基本全部去除, 表面形貌的均匀性较好, 表面的显微硬度由原始的820 HV变为了900 HV, 研磨后的表面强度增加了。

关键词: 磁粒研磨; 磁场模拟; 粗糙度值; 表面形貌; 显微硬度

中图分类号: TG147

文献标识码: A

Experimental Study on GCr15 Bearing Inner Ring Magnetite Grinding and Finishing

LIU Dongdong, HAN Bing, CHEN Yan, HU Yugang

(School of Mechanical Engineering and Automation, University of Science and Technology Liaoning, Anshan 114051, China)

Abstract: In order to reduce the surface roughness of bearing inner rings, the magnetic pole shape was simulated and analyzed by Ansoft Maxwell magnetic field simulation software. It was found that the magnetic field intensity of magnetic pole slot was high. Based on this, the influence of abrasive particle size, magnetic pole speed and the amount of grinding fluid on the surface roughness was studied. The results showed that when the abrasive particle size was 185 μm , the speed of magnetic pole was 600 r/min, the amount of grinding fluid was 6 mL and the finishing time was 60 min, the surface roughness of bearing inner ring decreased from 0.51 μm to 0.10 μm . The surface scratches and knife micro-lines were basically removed. The surface morphology was uniform. The surface micro-hardness changed from 820 HV to 900 HV, and the surface strength increased after grinding.

Keywords: magnetic particle grinding; magnetic field simulation; roughness value; surface morphology; microhardness

随着装备制造业、机械智能制造业的不断发展, 轴承作为大型机械装备的子部件, 对其自身的精度、强度和表面质量具有很高的要求^[1-2]。因为轴

承钢都是通过调制热处理使基体组织晶粒细化, 使表面晶粒排布较为均匀致密, 表层硬度较大^[3-4]。由于轴承都是以高转速负荷在运转, 疲劳失效和磨损

收稿日期: 2019-01-17

修回日期: 2019-02-25

基金项目: 国家自然科学基金(51775258)

失效显得尤为突出。其原因归根于轴承内圈与滚珠之间的接触面(轴承内表面)光整度差,这不仅影响了轴承与轴之间的高精度装配,还使其表层承载力不均匀,导致其使用寿命降低,因此,提高零件的表面光整度和降低内圈的表面粗糙度是非常重要的。

以往对于轴承内表面光整采用改装油石机构进行超精研加工,魏泽飞等^[5]采用电化学机械复合的方法来提高轴承滚子表面的质量,其表面质量得到很大改善,但加工装置复杂且效率较慢。KIM JJ等^[6]对高速CBN砂轮磨削轴承内表面性能进行研究,表面形貌较磨削前平整度较好,但高速磨削中产生大量的热反而对内圈造成破坏。刘佳等^[7]研究了超声滚挤压加工对轴承内圈形貌的影响,表面轮廓的峰谷值较之前明显减小,而且能起到强化工件的效果,但滚挤压过程的加工效率太慢。杨黎健等^[8]采用在线电解修正对轴承内圈磨削实验,即工件电极对砂轮在磨削过程中进行修锐,虽然对轴承内表面粗糙度值的大小有明显的降低,但不仅效率低而且需要较为复杂的电解修正装置。磁粒研磨光整加工轴承内圈的加工工艺,借助磨粒在磁场中的复合作用力对工件表面刻画、挤压和切削等作用,且具有研磨过程温升小、可控性强、实验搭建简单等优点^[9-10]。不仅适合轴承内圈的光整加工,还对平面零件、复杂曲面工件以及各种异形管件内表面的光整加工都有很好的研磨效果^[11-12]。较以往的加工方法能够大大提高研磨效率,能够解决高硬度工件表面研磨光整难的问题。

1 实验部分

1.1 磁粒研磨加工装置及原理

图1为磁粒研磨光整轴承内圈装置图,铝合金装夹在三爪卡盘上,轴承嵌套在铝合金管内,随车床主轴作顺时针旋转运动,圆柱形磁极棒安装在电机主轴上,电机固定在溜板箱上,在丝杠的驱动下实现磁极的轴向进给运动,磁极与工件之间的保持2 mm的加工间隙,用于添加磁性粒子和磨削液。由于轴承属于导磁性件,在研磨过程中磁感线不能穿出工件,磁极与工件形成封闭的磁场区域,在磁场力的作用下,粒子被挤压到工件表面,在磁极逆

时针的带动下,磨粒粒子在轴向力、切向力和磁场力的复合作用下,不停的切削、刻画工件表面,从而达到工件表层的微切削量去除,表面粗糙度得到降低。



图1 磁粒研磨轴承内圈加工装置图

1.2 轴承研磨工艺参数

工件尺寸规格:轴承外径110 mm×内径100 mm×宽30 mm,采用触针式粗糙度测量仪对研磨前后的表面粗糙度值进行接触式测量,车床主轴转速:300 r/min,磁极材质均为钕铁硼(Nd-Fe-B)永磁极,磁极规格为 $\Phi 8$ mm×55 mm径向磁极;磁极与轴承内圈之间的加工间隙为2 mm,研磨液为大连开米克公司生产的水基式研磨液。磨粒选用铁粉粒径为185~220 μm 和二氧化铝粒径为30~50 μm 按照质量比为2:1均匀混合烧结法制备的磁性磨料粒子,筛分后取150 μm 、185 μm 和250 μm 三种粒径试验,车床选用带有光线开关的改装小车床,沈阳电机集团生产的伺服高速电机。

1.3 莱试硬度仪检测原理

在工件表面分别对研磨前后各取3个不同点测量其显微硬度变化,取其平均值得出研磨前后的硬度值。

使用莱州莱试试验仪器设备生产的HV-1000型显微硬度计对研磨前后对轴承维氏硬度进行测定,原理如图2,是用136°正菱形金刚石压头,以事先规定的测试力压入被测试轴承表面,经过10 s的保持试验力后,对施加的力进行卸除,用测微目镜测量轴承表面压痕对角线(d),计算压痕的锥形表面积所承受的平均压力(N/mm^2),即为所得维氏硬度值。

维氏硬度计算公式为： $HV=1.854\frac{F}{d^2}$

式中： HV 为维氏硬度； F 为载荷力，N； d 为压痕两条对角线(d_1 、 d_2)长度的平均值，mm； HV 压痕深度 h 和对角线 d 之间的关系为： $h=d/7$

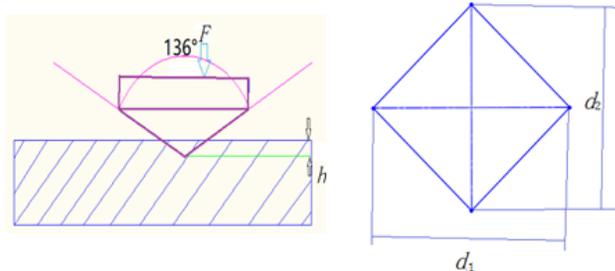


图2 测试原理图

2 模拟及仿真分析

ANSYS Maxwell是有限元电磁场仿真分析软件，通过对永磁体钕铁硼(Nd-Fe-B)磁极在封闭区域内的3D仿真云图和磁感应强度曲线图分析，从而得出最佳的辅助磁极。

如图3、4和5所示，是利用Maxwell 16.0软件分别对磁极未开槽、磁极开轴向槽和磁极开环形槽进行三维仿真模拟，从图3、图4和图5的云图中可以看到磁感线包络于磁极周围，且都未穿出于轴承之外，这是因为导磁性工件有屏蔽磁场的作用，从图6磁感线变化曲线图中我们可以直观地看到未开槽磁极的磁感性强度的两个波峰值均为0.25 T，磁极开环形槽时，磁感线强度最大值仅有0.20 T，较未开槽磁极减少了50 mT，磁极开轴向槽时，磁感应强度的波峰值达到了0.42 T，磁感线在有效研磨区域较稠密，磁性粒子受到的研磨压力会增强，会使刻画深度增大，材料去除量和研磨效率得到很大提高，综上所述，磁极开轴向槽时研磨效果较好。

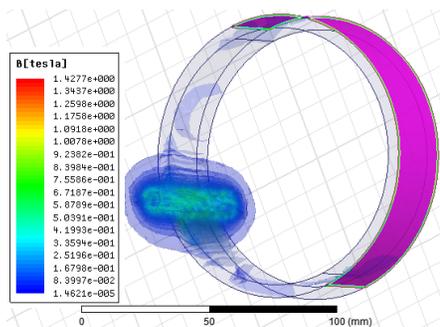


图3 磁极未开槽模拟云图

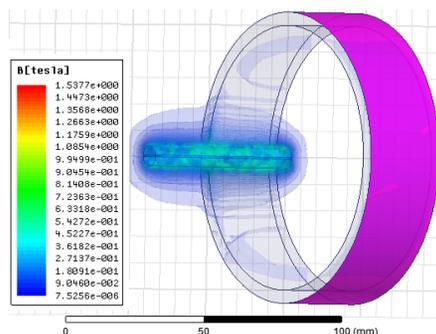


图4 磁极开轴向槽模拟云图

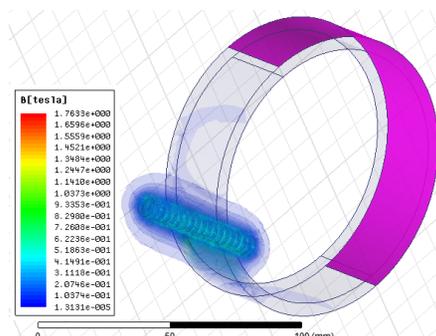


图5 磁极开环形槽模拟云图

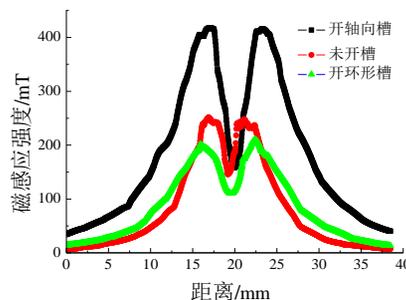


图6 三种磁极的磁感应强度变化曲线图

3 结果与讨论

3.1 磨料粒径对表面粗糙度的影响

在试验参数1.2和磁极开轴向槽的条件下，对比150、185、250 μm三种不同磨料粒径对轴承内圈研磨光整的影响，其粗糙度值随加工时间变化曲线如图7可知，在前10 min，粒径为250 μm粒子研磨后表面粗糙度值下降的比较快，因为轴承原始表面的峰谷值相差较大，粒子最先刻画、切削凸峰，使峰谷之间的差值降低较明显，研磨过程中的背吃刀量大，表面粗糙度下降的较快，10 min后，当粗糙度值降到一定数值后，再继续研磨30 min时，表面粗糙度值下降缓慢。从图7可以看出，在最后20 min

里,粗糙度值下降的较缓慢且出现反弹现象,是因为当粗糙度降到一定程度时,由于磨料粒径大,在磁场中受到的有效研磨力大,会使带有切削刃的磨料粒子产生过磨现象,使表面产生二次划痕现象,粗糙度值反而增大,而粒径为 150 μm 磨料粒子研磨后表面粗糙度值下降的较缓慢,40 min 后表面粗糙度值趋于稳定,这主要是因为粒径太小,烧结法制备的磁性磨料粒子受有效磁场力小且表面切削刃较少,使研磨刷光刻轴承内圈的切削量较小。而粒径为 185 μm 的磨料粒子较为适中,综合有效研磨力和粒子表面切削刃相对粒径为 250 μm 和 150 μm 的两种粒子最好,且粒径 185 μm 的粒子研磨 60 min 后,表面粗糙度值由原来的 0.51 μm 下降至 0.10 μm ,达到最佳的研磨效果。

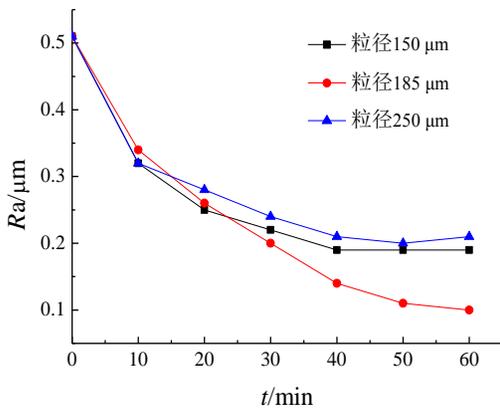


图7 磨料粒径对表面粗糙度值的影响

3.2 磁极转速对表面粗糙度的影响

在实验参数 1.2,磁极开轴向槽和磨料粒径为 185 μm 的实验前提下,调节高速电机分别为 400、600、800 r/min 三种转速条件下对轴承内圈的影响如图 8 折线图所示。磁极转速为 400 r/min 时,在单位时间内磨粒的切削刃与轴承内表面光刻的频率较少,且转速慢会使磨料翻滚相对缓慢,使表面划痕较严重,虽然粗糙度值较原始表面下降了,但轴承内圈表面质量差,加工效率相对较低;在磁极转速为 800 r/min 时,转速提高了使磨料与工件表面切削的频率增加了,磨料更新翻滚的速度增加了,不停地有新的切削刃加工表面,表面质量得到很大提高,但不太理想,这是因为转速高,会使磨料粒子受到的离心力较大,从而逃离了磁场的束缚,使真正

参与研磨的粒子减少了,研磨加工 50 min 后,表面粗糙度值不再变化;当磁极转速为 600 r/min 时,前 30 min 表面粗糙度值下降较快,再继续研磨 30 min,表面质量下降地相对均匀,最终轴承内圈表面粗糙度值由原始的 0.51 μm 下降至 0.10 μm ,表面质量的研磨效果达到最优。

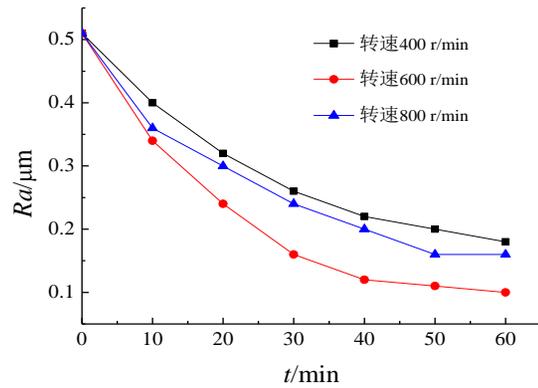


图8 磁极转速对表面粗糙度的影响

3.3 研磨液的量对表面粗糙度的影响

如图 9 为在试验参数 1.2,磁极开轴向槽,磨料粒径为 185 μm ,磁极转速为 600 r/min 的条件下,取研磨液的添加量分别为 3、6、9 mL 的量来研究对表面粗糙度值的变化影响,当研磨液添加量为 3 mL 时,研磨过程中发现磁性粒子因其摩擦阻力相对较大使更新、翻锐的效果不佳,且有堵塞现象,使粒子不能及时更锐切削刃,表面有所改善但效果不好;研磨液添加量为 9 mL 时,磨粒之间能够得到充分润滑,但由于研磨液具有一定的黏稠性,会使得磨料粒子表面包裹一次油膜且粒子之间有牵引作用,在离心力的作用下会使磨料被甩飞,使有效的研磨区域真正参加研磨的粒子减少,从而使轴承内圈的表面粗糙度值下降的较缓慢;研磨液用量为 6 mL 时,粒子之间的结合力相对紧凑,在磁场力、离心力及轴向牵引力的复合作用下粒子更新、翻滚的较剧烈,使粒子加工内圈的表面粗糙度值由原始的 0.51 μm 下降至 0.10 μm ,表面粗糙度值达到最低,光整加工效果相对较好。

3.4 光整加工前后表面形貌分析

一个轴承要经历锻造-退火-车削加工-热处理-磨削一整套流程工艺获得成品,其车削加工后表面

形貌如图10(a)所示,在VHX-500F显微镜放大100倍所得的微观表面形貌中有较深的沟槽、刀微纹,并在JB-8E型粗糙度测量仪得到原始表面粗糙度值为 $0.51\ \mu\text{m}$,在试验参数1.2,磁极开轴向槽,磨粒粒径为 $185\ \mu\text{m}$,磁极转速为 $600\ \text{r/min}$,研磨液用量为 $6\ \text{mL}$ 的最佳研磨工艺参数下,对轴承内圈经过 $60\ \text{min}$ 的光整加工实验如图(b)所示,表面的沟槽、刀微纹基本去除,表面质量的均匀性较好,测得光整后的表面粗糙度值达到了 $0.10\ \mu\text{m}$ 。

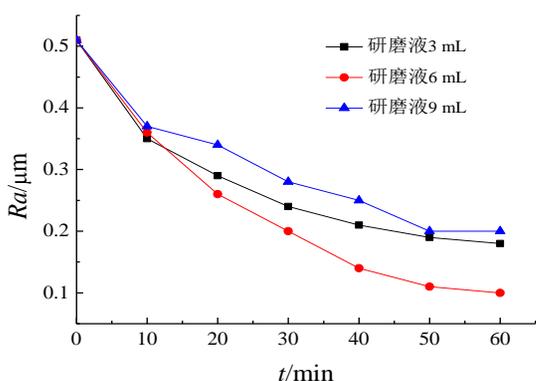


图9 研磨液用量对表面粗糙度的影响

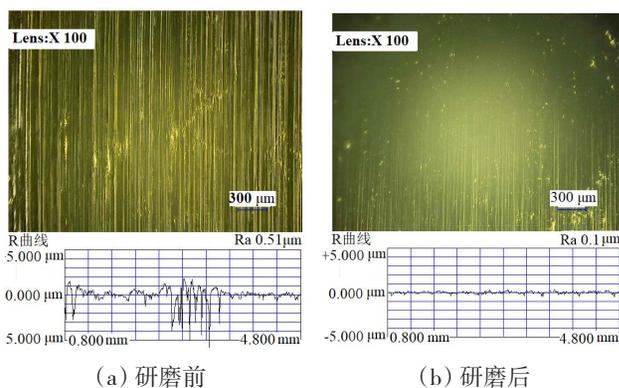


图10 研磨前后的表面形貌变化

3.5 磁粒研磨对表面显微硬度的影响

经测试加工前的维氏硬度为 $820\ \text{HV}$,磁粒研磨光整加工后其维氏硬度为 $900\ \text{HV}$,磁粒研磨过后其表面更加均匀致密,轴承的疲劳使用寿命得到提高。

4 结论

磁粒研磨光整加工轴承内圈的过程中,利用

Ansoft Maxwell软件分析得到了径向磁极开轴向槽时的磁感应强度相对较大,即有效研磨压力较大,在此基础上磨料粒径为 $185\ \mu\text{m}$,磁极转速为 $600\ \text{r/min}$,研磨液用量为 $6\ \text{mL}$,轴承内圈的峰谷值之差相对较小,研磨后的均匀度较好表面粗糙度值由原始的 $0.51\ \mu\text{m}$ 下降至 $0.10\ \mu\text{m}$,内圈表面的划痕、沟槽基本完全去除,研磨前后的维氏硬度提高了 $80\ \text{HV}$,提高了轴承内圈的疲劳使用寿命。

参考文献

- [1] 刘军,孙明强,张兴. 矿业装备用滚动轴承长寿化解决方案[J]. 矿业装备, 2015, (12): 34-37.
- [2] 申庆贺. 轴承滚道无心磨削工艺参数对精度和表面质量的影响[D]. 大连: 大连工业大学, 2017.
- [3] 王筱冬,张娇. 机械轴承钢的热处理和摩擦学性能研究[J]. 材料开发与应用, 2018, 33(04): 85-90.
- [4] 周海珊. 表面状态对滚动轴承接触疲劳磨损的影响[J]. 表面工程, 1994, (02): 35-38.
- [5] 魏泽飞,李蕾,余东生,等. 电化学机械加工对轴承滚子表面质量及凸度的影响[J]. 表面技术, 2018, 47(07): 119-124.
- [6] Kim J J, Oh S H, So B M. Grinding ability and characteristics in normal QT heat treatment vs. carbo-nitriding heat treatment bearing steel under CBN wheel grinding process[C]. Grid & Distributed Computing-International Conference, DBLP, 2011.
- [7] 刘佳. 精密轴承内圈超声滚挤压加工表面微观形貌研究[D]. 洛阳: 河南科技大学, 2017.
- [8] 杨黎健,任成祖,靳新民. 轴承套圈内圆在线电解修整磨削试验[J]. 中国机械工程, 2011, 22(02): 212-214.
- [9] 李学全,李峻,胡德金,等. 磁力研磨技术[J]. 机械设计与制造工程, 2000, (01): 56-57+3.
- [10] 陈春增,张桂香,赵玉刚,等. 磁力研磨镍基高温合金实验研究[J]. 电镀与精饰, 2016, 38(04): 6-9.
- [11] 焦安源,邹艳华. 平面磁力研磨轨迹的研究与分析[J]. 制造技术与机床, 2011, (10): 90-93.
- [12] 张琳,赵吉宾,李论. 复杂曲面磁力研磨加工方法研究[J]. 组合机床与自动化加工技术, 2014, (01): 129-131+135.