

[研究·设计]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.03.007

基于双平面圆柱滚子研磨技术的工艺优化

冯 铭, 姚蔚峰, 周文华, 孙 磊, 邓乾发, 吕冰海

(浙江工业大学超精密加工研究中心, 浙江 杭州 310014)

摘 要:圆柱滚子是轴承的重要组件,随着对设备仪器性能的要求不断提高,对圆柱滚子的精度和一致性要求也越来越高。文章分析行星式双平面研磨方式下磨料粒度、研磨盘转速、夹具孔偏角对圆柱滚子的加工精度的影响情况。文中首先基于正交实验设计了标准的 $L_9(3^4)$ 正交表,并严格按照正交表中的实验序号进行了圆柱滚子的加工实验,然后采用信噪比和 ANOVA 方差法对加工结果进行数据分析,最终获得了参数的最优组合。根据优化的研磨条件进行加工,结果显示圆柱滚子的圆度、直线度以及平行度均达到了 $1\ \mu\text{m}$ 以下,优化效果显著。

关 键 词:轴承;双平面研磨;圆柱滚子;磨粒;正交实验设计

中图分类号:TB39

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)03-0026-05

Process Optimization of Cylindrical Roller Lapping Technology Based on Double-side Lapping Methods

FENG Ming, YAO Weifeng, ZHOU Wenhua, SUN Lei, DENG Qianfa, LÜ Binghai

(Ultra-precision Machining Research Centre, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The rolling element is the most important component of rolling bearings. Its geometric accuracy and consistency affects the performance and working life of bearings greatly. A standard taguchi $L_9(3^4)$ orthogonal array (oa) was designed to analyze abrasive size, rotating speed of plates, deflection angle of carrier holes and other factors impacting on precision of cylindrical roller process and achieved the optimized parameters combination by adopting evaluation of signal-to-noise ratio and ANOVA analysis (analysis of variance). Under the optimized lapping condition, the better roundness, straightness and the parallelism of the cylindrical roller was achieved.

Key words: bearing; double-side lapping; cylindrical roller; abrasive; orthogonal experimental design

高精密轴承被广泛地应用于高速、高载荷设备与器械之中,对高精密轴承最主要组件之一的圆柱滚子而言,它的几何精度和一致性均对轴承的使用寿命有很大的影响。保证圆柱滚子的质量随之成为了轴承产业中重要的环节,因此越来越多的研究机构参与到提高圆柱滚子质量的研究当中^[1-3]。

目前主要的圆柱滚子加工方法为无心外圆磨削加工,加工过程中整个工件被加工表面都被运动三要素所支撑着,从而使单个工件直径和圆度误差保持在 $1\ \mu\text{m}$ 以内^[4]。其次还有无心研磨加工方法、磁流体磨削法、游离磨粒超精密研磨法^[5-8]。近年来,浙江工业大学的袁巨龙教授团队首先提出了一种行星式双平面

研磨圆柱滚子的方法,该方法具有加工高效、成本低廉的优异特点,能够获得高一致性、高精度的圆柱滚子。

本文基于行星式双平面研磨圆柱滚子的方法进行了一系列的正交加工实验,通过对实验数据的统计与分析最终获得一组最优的加工参数组合,为生产实践提供了帮助。

1 实验方案

本实验采用高精度双平面研磨机如图 1 所示,其主要包括如下构件:上研磨盘、下研磨盘、行星轮夹具、外齿圈、内齿圈。上研磨盘和下研磨盘同轴放置,独立转动,上盘起到加压作用;夹具放在内齿圈和外齿圈之间,圆柱滚子放在夹具的孔槽内,孔槽在夹具表面可呈

收稿日期:2013-10-17;修回日期:2013-10-23

基金项目:国家自然科学基金项目(51175468);浙江省自然科学基金重点项目(Z1110794)

作者简介:冯铭(1988),男,浙江温州人,硕士研究生,主要研究方向为超精密加工技术及装备。E-mail:fengming995@163.com

辐射状分布。加工时,夹具绕研磨盘中心公转同时自转,同时圆柱滚子在上、下研磨盘和夹具的作用下既绕夹具中心公转又同时自身滚动,作复杂空间运动。行星式双平面研磨机原理图见图2。



图1 高精度双平面研磨机

Figure 1 High precision double-side lapping machine

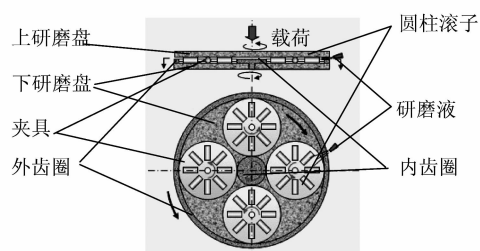


图2 行星式双平面研磨机原理图

Figure 2 Principle diagram of the planetary double-side lapping machine

本次试验采用正交实验^[9],磨粒质量分数均为25%的氧化铝研磨液,研磨液主要成分为氧化铝,蒸馏水,磨削液、清洁剂等。压力采用单个滚子1.5 N,加工4 000圈。实验参数设计采用标准的4因素、3水平 $L_9(3^4)$ 正交表,见表1。其中夹具孔偏角的定义如图3所示。

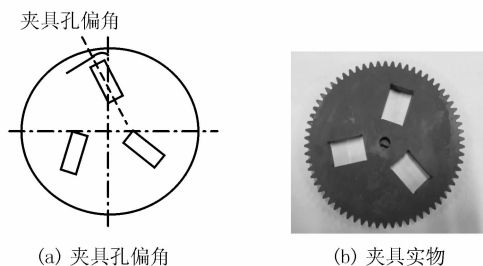


图3 夹具孔偏角及实物图

Figure 3 Deflection angles and carriers

表1 $L_9(3^4)$ 正交表

Table 1 Orthogonal table $L_9(3^4)$

实验序号	因素		
	A	B	C
	磨粒粒度/ μm	研磨盘转速/ $(\text{r} \cdot \text{min}^{-1})$	夹具孔偏角/ $(^\circ)$
1	13.0	30	0
2	13.0	50	10
3	13.0	70	20
4	6.5	30	10
5	6.5	50	20
6	6.5	70	0
7	3.5	30	20
8	3.5	50	0
9	3.5	70	10

本实验每组选取9个圆柱滚子进行加工,以最终的圆度、平行度、直线度为评价指标,测量设备为德国Mahr的MMQ400型多功能测量仪。测量前在滚子两端面做标号,再进行测量和记录数据。图4为部分待加工实物图,图5为其中一组工件的圆度、平行度、直线度的初始数值,其他组的初始精度基本相同,可以发现工件初始精度均在 $8 \sim 14 \mu\text{m}$ 之间。



图4 部分工件实物

Figure 4 Part of the work-piece

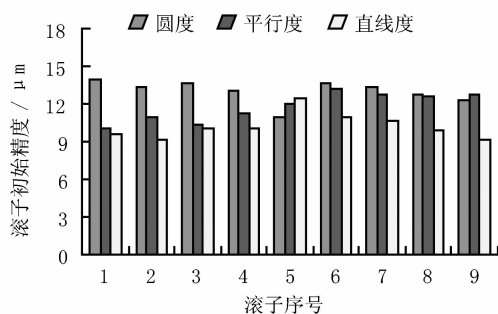


图5 圆柱滚子初始精度

Figure 5 Initial precision of cylindrical roller

2 实验结果与讨论

2.1 S/N响应结果分析

S/N响应分析目的在于找出最优的研磨工艺参

数^[10]。 S/N 为信噪比,其值越大越好。分析 S/N 值会更加客观,但是一般不代表具体的物理含义。

1) 磨粒粒度的影响分析

零件表面形位误差随磨粒粒度的变化见图6。

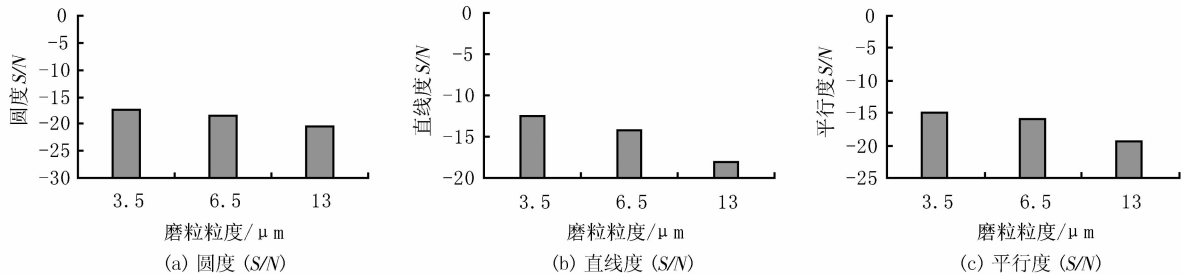


图6 圆度、直线度、平行度随着磨粒粒度的变化柱状图(S/N 平均响应)

Figure 6 Roundness, straightness and parallelism with the influence of abrasive size

由图6分析可知,加工过程中磨粒粒度越小,圆度、直线度和平行度 S/N 绝对值就越小,表明磨粒粒度越小越有利于得到更好的圆度、直线度、平行度,但

到一定程度时会趋于稳定。

2) 不同研磨盘转速影响分析

零件表面形位误差随转速变化见图7。

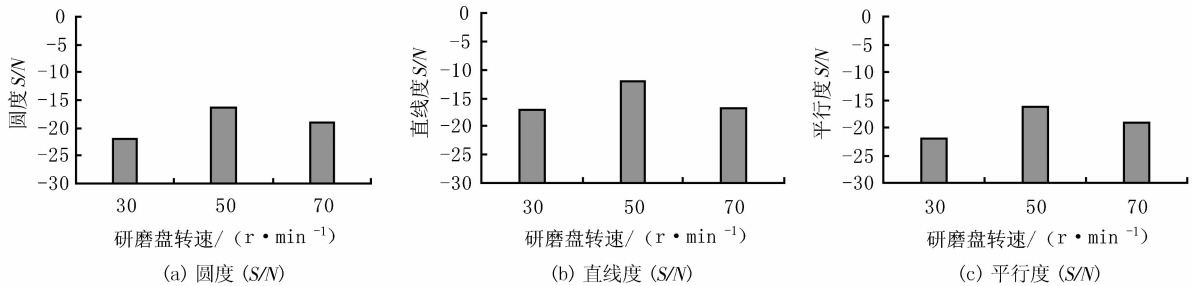


图7 圆度、直线度、平行度随着转速的变化柱状图(S/N 平均响应)

Figure 7 Roundness, straightness and parallelism with the influence of rotating speed

由图7分析可知,加工过程中随研磨盘转速增加,圆度、直线度和平行度均先改善后恶化,表面研磨盘转速不能太高也不能太低。按上图所示,研磨盘转速选

取50 r/min左右最为合适。

3) 不同夹具偏角的影响分析

零件表面形位误差随夹具偏角变化见图8。

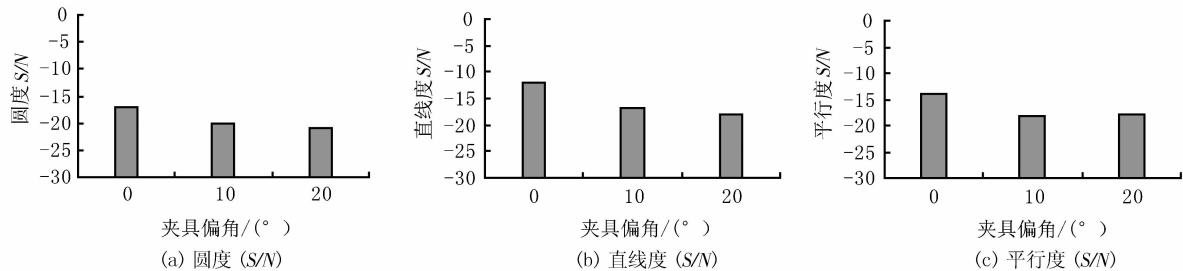


图8 夹具偏角对圆度、直线度、平行度的影响(S/N 法平均响应)

Figure 8 Roundness, straightness and parallelism with the influence of deflection angle

由图8分析可知,加工过程中随夹具偏角增加,圆度、直线度、平行度恶化,表明夹具偏角对于圆度、直线度、平行度的改善没有多大帮助。

2.2 ANOVA 的因素影响权重分析

采用ANOVA方差法^[11]目的在于对磨料粒度(因素A)、研磨盘转速(因素B)、夹具结构(因素C)、其他未知因素的影响权重进行分析。本实验中,实验总次

数为9,自由度9,因素个数为4,每个因素的水平个数为3,每个因素水平重复次数为3,根据实验结果进行方差分析,如图9所示。

1) 圆度的各个因素影响权重依次为:因素A磨料粒度41% > 因素B研磨盘转速34% > 因素C夹具偏角17% > 其他因素8%。

2) 直线度的各个因素影响权重依次为:因素A磨

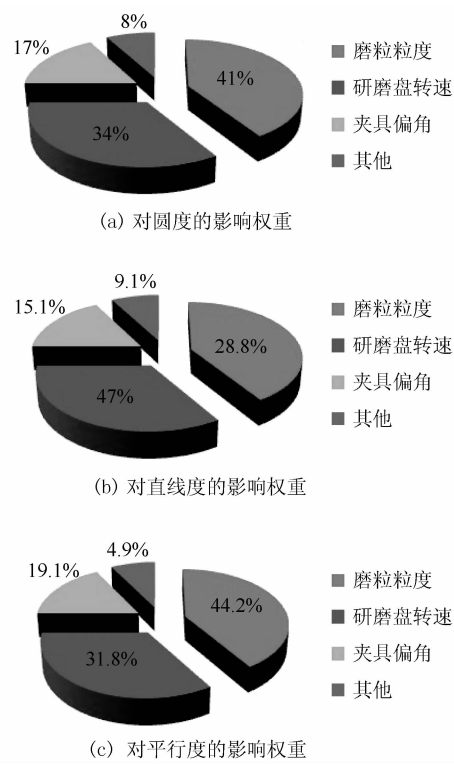


图9 权重比例图

Figure 9 Impact weight chart of roundness, straightness, parallelism

粒粒度 44.2% > 因素 B 研磨盘转速 31.8% > 因素 C 夹具偏角 19.1% > 其他因素 4.9%。

3) 直线度的各个因素影响权重依次为:因素 A 磨粒粒度 47.0% > 因素 B 研磨盘转速 28.8% > 因素 C 夹具偏角 15.1% > 其他因素 9.1%。

3 优化参数组合和实验结果

通过上述 S/N 平均响应分析和 ANOVA 方差分析,在以上的实验参数值中选择合适的磨粒粒度、研磨盘转速、夹具偏角,再配合其他参数形成一个优化的实验参数组合,如图 10,表 2 所示。在表 2 的条件下进行加工实验,实验结果如图 11。

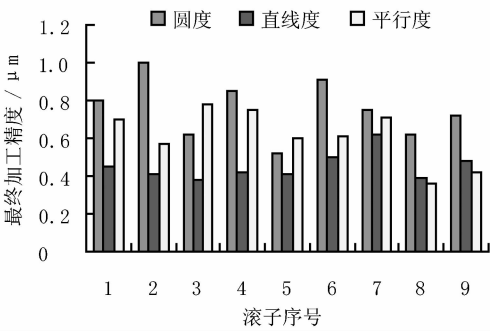


图 10 优化实验结果

Figure 10 Optimized experiment results

表 2 优化的工艺参数组合

Table 2 Optimized process parameters

磨料和研磨液		研磨盘转速/ ($r \cdot \min^{-1}$)	夹具形式	压力 F / ($N \cdot \text{工件}^{-1}$)	其他要求			
磨粒粒度/ μm	组分				空间	温度/ $^{\circ}\text{C}$	工件翻转间隔	总加工圈数/圈
3.5	Al_2O_3 :水: 清洗剂:磨削液	50	0°偏角的四边形 3 孔夹具	1.5	无尘	约 23	180°/200 圈	4 000

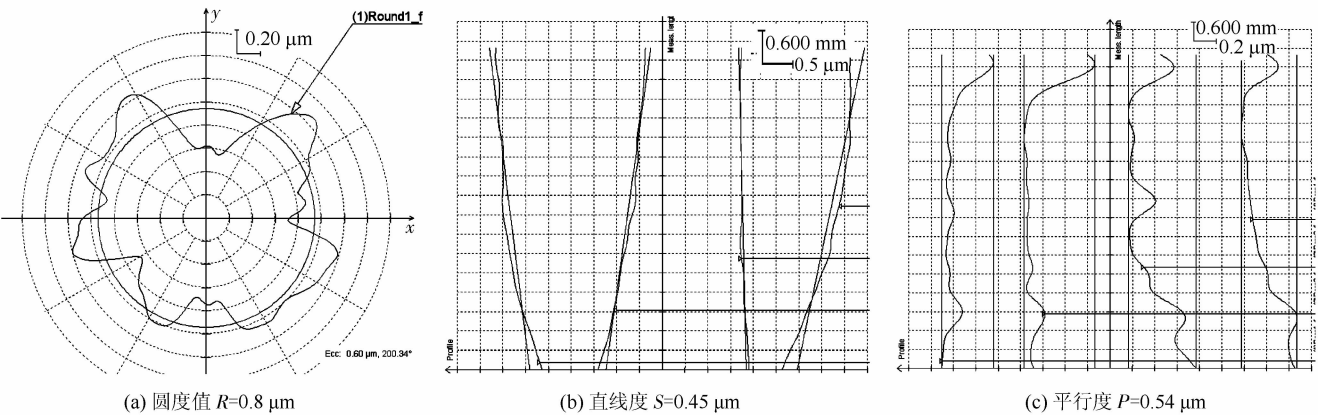


图 11 某一滚子检测结果

Figure 11 Measure results of one roller

(下转第 34 页)