

# 基于全因子试验的轴承沟道磨削工艺研究

常舟,陈耀龙

(西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室,西安 710054)

**[摘要]** 通过全因子试验研究了不同磨削工艺对轴承沟道磨削变质层的影响。选取磨削参数时考虑残余应力、硬度、残余奥氏体和磨削变质层等目标。同时也考虑不同磨削参数对磨削效率和磨削精度的影响。试验表明,砂轮转速对残余应力和磨削变质层的影响较大,对硬度和残余奥氏体的影响较小。采用 9000r/min 的砂轮转速磨削将产生较高的残余拉应力。最终选取了所有磨削工艺中最为合适的磨削参数为:7000r/min 砂轮转速、200r/min 工件转速、15 μm 磨削深度,具有重要的工程指导意义。研究结果可以很好地指导轴承企业生产。

**关键词:** 轴承沟道;磨削变质层;残余奥氏体;硬度;残余应力

**DOI:** 10.16080/j.issn1671-833x.2018.09.052



常舟  
博士研究生,研究方向为轴承滚道磨削。

加工质量直接影响轴承的使用性能和疲劳寿命。轴承沟道通常采用精密磨削来实现最终加工。

轴承沟道在磨削加工时,磨粒与工件相互作用会产生大量的磨削热,影响工件表面质量,形成一层与基体材料物理性能不同的薄层,在有的文献中称之为磨削变质层<sup>[1]</sup>。分析磨削变质层的主要指标有残余应力、硬度和金相组织<sup>[2]</sup>。残余应力会影响良好使用条件下轴承沟道的疲劳寿命,主要影响接触表面以下的疲劳剥落<sup>[3]</sup>。硬度会影响轴承沟道的磨损寿命<sup>[4]</sup>。对于金相组织而言,残余奥氏体会影响污染条件下轴承沟道的疲劳寿命,主要影响接触表面上的疲劳剥落<sup>[5]</sup>。磨削变质层在颜色上的不同可以分为白层和暗层<sup>[6]</sup>。在显微镜下呈现白色的薄层称为白层,在白层以下呈现暗色的薄层称为暗层。磨削变质层中的白层<sup>[7]</sup>也会降低轴承的疲劳寿命。目前,国内许多学者

研究了轴承磨削工艺对磨削变质层的单一指标的影响,并没有全面考虑磨削工艺对磨削变质层所有指标的影响。

本文以轴承外圈内滚道作为对象,建立基于磨削参数的全因子试验,研究不同磨削参数下轴承沟道表面性能的变化规律,最终提高轴承沟道在不同环境下的综合使用寿命。本研究对提高我国轴承制造水平有着十分重要的工程实际意义。

## 磨削试验介绍

### 1 磨削轴承套圈

试件为经过热处理的角度接触球轴承(型号:7014AC)的外套圈,套圈试件外径为 110mm,内径为 98mm,宽度为 20mm,沟道宽度为 7mm。

套圈的材料为轴承钢 GCr15。GCr15 轴承钢是一种合金含量较少、具有良好性能、应用最广泛的高碳铬轴承钢。经过淬火加回火后

轴承是装备制造业中重要的、关键的基础零部件,决定着重大装备和主机产品的性能、质量和可靠性。轴承沟道是轴承的工作表面,其

具有高而均匀的硬度、良好的耐磨性、高的接触疲劳性能。该钢冷加工塑性中等,切削性能一般,焊接性能差,对形成白点敏感性能大,有回火脆性。GCr15 轴承钢,含 C 为 0.95~1.05, Mn 为 0.25~0.45, Si 为 0.15~0.35。

轴承套圈在磨削之前进行过淬硬热处理。热处理后硬度为 61HRC。加工机床为 3MK1420 数控磨床,所采用的砂轮为 P80×10×20W A80KV60。磨削砂轮内滚道采用切入磨削。砂轮通过金刚笔修整器进行在线修锐,磨削液为乳化液。每次磨削套圈沟道后使用金刚笔进行修整,且修整后机床可自动补偿,可以认为砂轮性能保持一致。实际加工过程如图 1 所示。

## 2 磨削全因子试验

影响磨削残余应力的因素有很多,主要有砂轮转速、工件转速、磨削深度、砂轮特性、冷却液特性等,其中砂轮转速、工件转速、磨削深度是影响磨削残余应力比较重要的因素,因

此本试验将其作为考察的因素。为了在较少的试验次数下充分考虑各试验因素对表面残余应力的影响,本试验采用全因子试验确定最佳的磨削参数。本试验为 3 因素 3 水平问题,应该选取全因子试验表进行设计。将本试验中所考虑的砂轮转速  $n_s$ 、工件转速  $n_w$ 、磨削深度  $a_p$  3 个因素水平排入全因子试验表,得到最终安排方案如表 1 所示。

全因子试验相比正交试验,试验样本更多,更能反映试验的真实性,试验结果有效可靠。

采用全因子试验,用来反映磨削参数与磨削工艺要求之间的映射关系,为提高磨削工艺要求打下基础(表 2)。

## 轴承沟道残余应力测试

### 1 残余应力测试原理

由布拉格定律可知 X 射线的波长  $\lambda$ 、衍射晶面间距  $d$  和衍射角  $2\theta$  之间有:

$$2d\sin\theta=n\lambda \quad (n=1,2,3\cdots) \quad (1)$$

因此,如果能够测得衍射角  $2\theta$

的变化,则应用式(1)就可求得材料中的内应力,即残余应力。

$$\sigma = -\frac{E}{2(1+\mu)} \times \cot\theta_0 \frac{\pi}{180} \times \frac{\partial(2\theta)}{\partial(\sin^2\psi)} \quad (2)$$

式中:  $E$  为杨氏模量;  $\mu$  为泊松比;  $\Psi$  为晶面方位角;  $\theta_0$  为无应力状态的布拉格角。

### 2 残余应力测试参数选择

本试验所采用的测量仪器为 X-350AX 射线测量仪。因 7014AC 角接触球轴承的沟道宽度为 7mm, X 射线的照射面积较小。为得到较好的衍射峰来保证残余应力测量的准确性,选择较小的准直管,较大的射线管电压和管电流,同时选择较长的计数时间。所以准直管直径为 1mm, X 射线管工作电压 28.0kV,工作电流 8.0mA,计数时间为 2s。X 射线靶材为 CrKa,测量方法选择侧倾固定  $\Psi$  法,  $\Psi$  角分别为  $0^\circ$ 、 $45^\circ$ ,衍射晶面(211),  $2\theta$  起始扫描角为  $169.00^\circ$ ,终止扫描角为  $143.00^\circ$ ,扫描步长为  $0.10^\circ$ ,应力常数  $K=318\text{MPa}/(^\circ)$ 。

使用线切割将磨削后的轴承外圈切成小段,方便 X 射线衍射应力仪测量内沟道的残余应力。为保证测量残余应力的准确性,需要沟道测试点的法线垂直向上。使用一个小钢球,其直径小于沟道宽度。让小钢球静止在轴承沟道的最低点,该静止点就是 X 射线衍射应力测量的点(图 2)。

### 3 残余应力测量结果

将经过热处理未磨削的轴承套圈记为 0 组,随机抽取 5 个套圈,每个套圈的编号依次记为 0-1~0-5。将每个套圈使用线切割切成 3 小段,测量每个小段沟道的残余应力。0 组的第 1 个套圈小段编号依次为 0-1-1~0-1-3,以此类推。

使用全因子磨削试验编号 1 的磨削参数磨削热处理后的轴承套圈,随机抽取 5 个套圈记为 1 组,每



图1 轴承套圈磨削加工试验

Fig.1 Grinding test of bearing ring

表1 7104套圈精度要求(超精后)

| 滚道参数 | 外圈滚道曲率半径 $r_o/\text{mm}$ | 外圈滚道直径 $D/\text{mm}$ | 外圈滚道沟形 $/\text{mm}$ | 外圈滚道圆度 $/\text{mm}$ | 粗糙度 $/\mu\text{m}$ |
|------|--------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|--------------------|
| 精度要求 | 6.73+0.04                | 102.725 ± 0.025      | 0.0012              | 0.0015              | 0.05               |

个套圈的编号依次记为 1-1~1-5。将每个套圈使用线切割切成 3 个小段,测量每个小段沟道的残余应力。正交试验 1 组的第 1 个套圈的小段编号以此为 1-1-1~1-1-3,以此类推。同理,也可以得出全因子磨削试验编号 2~27 的所有轴承套圈小段的编号。

测量沟道残余应力时,测量点尽可能远离切割边缘,这样测量的残余应力不用考虑应力释放,是准确有效的。

轴承套圈沟道下层的残余应力处于 3 轴应力状态,而沟道表层的残余应力处于两轴应力状态。所以在残余应力测试中不测量垂直于沟道表面的残余应力,只考虑轴向残余应力和环向残余应力。统计所有轴向残余应力和环向残余应力值,总共得到 840 个数据。全因子试验考虑的试验数据较为全面,全因子试验考虑 27 组磨削试验数据均值,同时考虑 1 组没有磨削试验数据均值,试验数据量大,结果可以准确反映磨削参数与磨削测量结果的准确性。

限于篇幅所限,仅列出了 0 组 1 号轴承小段编号为 0-1-1、0-1-2 和 0-1-3 的残余应力试验数据,如表 3 所示。

#### 4 环向轴向残余应力分析

从图 3 中可以看出,试验组号 1~27 的环向残余应力全部为残余压应力。随着砂轮转速的升高,残余压应力值逐渐减小。

图 4 表明试验组号 1~27 的轴向残余应力值不大,在 200MPa 变化,既有残余拉应力也有残余压应力。试验组号 7~9、16~18、25~27 套圈沟道的残余应力表现为残余拉应力,试验组号 1~6、10~15、19~24 套圈沟道的残余应力表现为残余压应力。

可以通过全因子试验分析磨削参数对套圈残余应力的影响规律。

表2 全因子试验表

| 试验编号 | 砂轮转速 $n_s / (r \cdot \min^{-1})$ | 工件转速 $n_w / (r \cdot \min^{-1})$ | 磨削深度 $a_p / \mu\text{m}$ |
|------|----------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 1    | 5000                             | 100                              | 5                        |
| 2    | 5000                             | 150                              | 10                       |
| 3    | 5000                             | 200                              | 15                       |
| 4    | 7000                             | 100                              | 10                       |
| 5    | 7000                             | 150                              | 15                       |
| 6    | 7000                             | 200                              | 5                        |
| 7    | 9000                             | 100                              | 15                       |
| 8    | 9000                             | 150                              | 5                        |
| 9    | 9000                             | 200                              | 10                       |
| 10   | 5000                             | 100                              | 10                       |
| 11   | 5000                             | 150                              | 15                       |
| 12   | 5000                             | 200                              | 5                        |
| 13   | 7000                             | 100                              | 15                       |
| 14   | 7000                             | 150                              | 5                        |
| 15   | 7000                             | 200                              | 10                       |
| 16   | 9000                             | 100                              | 5                        |
| 17   | 9000                             | 150                              | 10                       |
| 18   | 9000                             | 200                              | 15                       |
| 19   | 5000                             | 100                              | 15                       |
| 20   | 5000                             | 150                              | 5                        |
| 21   | 5000                             | 200                              | 10                       |
| 22   | 7000                             | 100                              | 5                        |
| 23   | 7000                             | 150                              | 10                       |
| 24   | 7000                             | 200                              | 15                       |
| 25   | 9000                             | 100                              | 10                       |
| 26   | 9000                             | 150                              | 15                       |
| 27   | 9000                             | 200                              | 5                        |

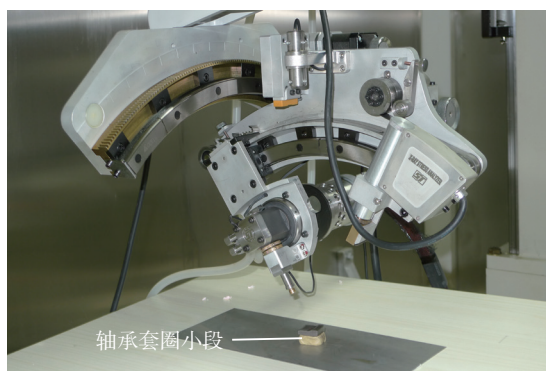


图2 轴承套圈小段残余应力测试

Fig.2 Test of residual stress in small section of bearing ring

表3 0组套圈编号1的轴向和环向残余应力

| 组号 | 套圈编号 | 小段编号  | 环向应力 /MPa | 轴向应力 /MPa |
|----|------|-------|-----------|-----------|
| 0  | 1    | 0-1-1 | -12       | -112      |
|    |      | 0-1-2 | -16       | -99       |
|    |      | 0-1-3 | -69       | -158      |

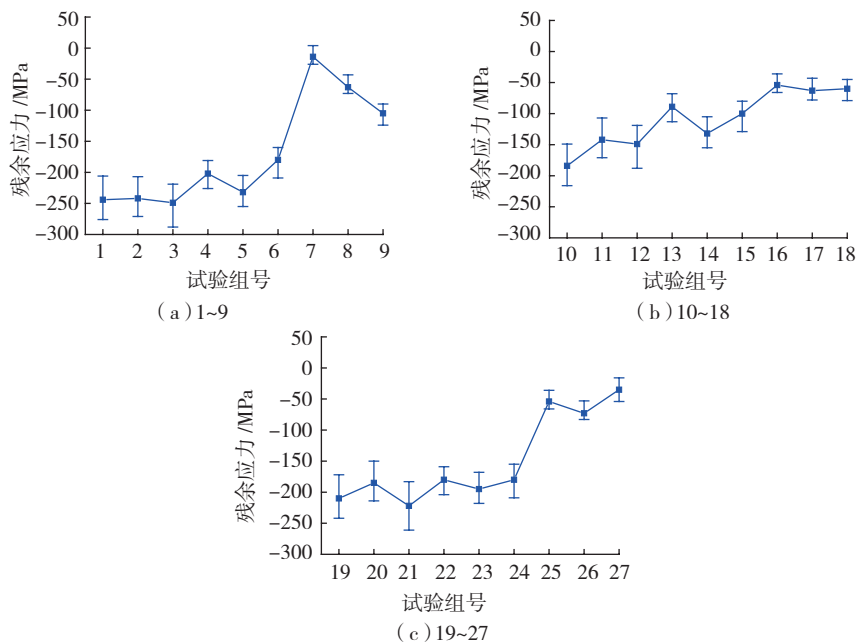


图3 轴承套圈环向残余应力

Fig.3 Circumferential residual stress in bearing rings

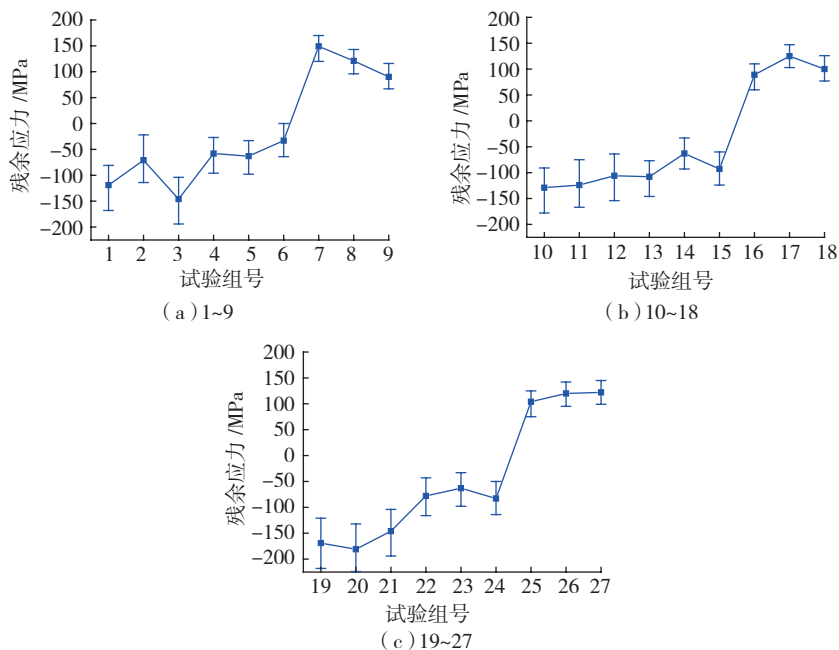


图4 轴承套圈轴向残余应力

Fig.4 Axial residual stress of bearing ring

使用 minitab 软件分析全因子试验中残余应力的主效应,砂轮转速斜率较大,砂轮转速即为主效应明显的影子,也就是说,砂轮转速是影响残余应力最重要的因素。

### 轴承沟道残余奥氏体测试

#### 1 残余奥氏体测试原理

测定残余奥氏体含量也是根据 X 射线衍射原理,遵从布拉格定律。钢铁中存在  $\alpha$ 、 $\gamma$  两相的衍射峰的积分强度与两相参与衍射的体积百分比成正比。求得积分强度,就可以利用下式求得残余奥氏体含量。

$$A\% = \frac{1}{1 + \frac{A_{r\alpha}}{A_{r\gamma}}}$$

式中,  $A_r$  相对积分面积。

#### 2 残余应力测试参数选择

残余奥氏体测量使用 X350AX 射线衍射仪测量,同样也遇到了 X 射线照射面积较小的问题。所以选择准直管直径 1mm, X 射线工作管电压 28.0kV,工作电流 8.0 mA。马氏体(211)衍射峰扫描步距  $0.10^\circ$ , 计数时间 2s,奥氏体(220)衍射峰扫描平步距  $0.05^\circ$ ,计数时间 3s。X 射线靶材为 CrKa,马氏体(211)衍射峰的起始扫描角为  $169.00^\circ$ ,终止扫描角为  $143.00^\circ$ ,奥氏体(220)衍射峰的起始扫描角  $131.00^\circ$ ,终止扫描角  $126.00^\circ$ 。

#### 3 残余奥氏体测量结果

同样利用线切割切成的轴承套圈小段测量残余奥氏体,同样使用小钢球来标定轴承沟道小段最低点。残余奥氏体测量结果如图 5 所示。从图 5 中可以看出,试验组号 1~27 的残余奥氏体含量在 9.5% 左右浮动。

可以通过全因子试验分析磨削参数对套圈残余奥氏体的影响规律。研究结果表面磨削参数对磨削残余奥氏体并无影响。

### 轴承沟道硬度测试

轴承硬度测试采用维式硬度计 HV-5,然后通过硬度换算表换算成洛氏硬度。洛氏硬度数据如图 6 所示。从图 6 中可以看出,试验组号 1~27 轴承沟道硬度变化不大,在 61HRC~64HRC 之间。

可以通过全因子试验分析,分析磨削参数对套圈硬度的影响规律。研究结果表面磨削参数对磨削硬度并无影响。

### 磨削变质层厚度测试

磨削变质层厚度测试采用场发射扫描电镜 SU-8010。磨削变质层观测图片如图 7 所示,可以发现滚道磨削过后形成了与基体材料明显

不同的变质层。

磨削暗层的厚度如图 8 所示,可以看出,随着砂轮转速的提高,试验组号 1~27 的磨削暗层厚度逐渐增加。需要特别指出的是,试验组号 1~27 的磨削变质层不存在磨削白层。

可以通过全因子试验分析磨削参数对磨削变质层的影响规律,使用 minitab 软件分析全因子试验中磨削变质层的主效应,砂轮转速斜率较大,砂轮转速即为主效应明显的因子,也就是说,砂轮转速是影响变质层最重要的因素。

### 粗糙度

对于切入磨削,磨削精度主要考虑磨削粗糙度。磨削粗糙度如图 9 所示,可以看出,随着砂轮转速的升高,试验组号 1~27 的磨削粗糙度逐渐降低。

使用 minitab 软件分析全因子试验中磨削粗糙度的主效应,砂轮转速斜率较大,砂轮转速即为主效应明显的因子,也就是说,砂轮转速是粗糙度最重要的因素。

### 讨论

根据国内外参考文献,轴承滚道的表面硬度、残余奥氏体、残余应力和磨削变质层,以及粗糙度都需要满足轴承滚道的磨削要求。

Rao 等<sup>[8]</sup>指出轴承沟道表面硬度在 HRC61~65 是满足轴承磨损寿命要求,即硬度超过 HRC61 以后,轴承沟道表面硬度越高越耐磨损。赵阳<sup>[9]</sup>指出轴承硬度只要控制在 HRC61 以上,轴承都是满足耐磨要求的。所以试验编号 1~27 的磨削工艺磨削出轴承沟道表面硬度都是较为合理的。

Yajima 等<sup>[5]</sup>指出轴承沟道表面残余奥氏体含量在 9% 时轴承污染条件下的轴承疲劳寿命最大。钱坤指出残余奥氏体含量在 9% 时轴

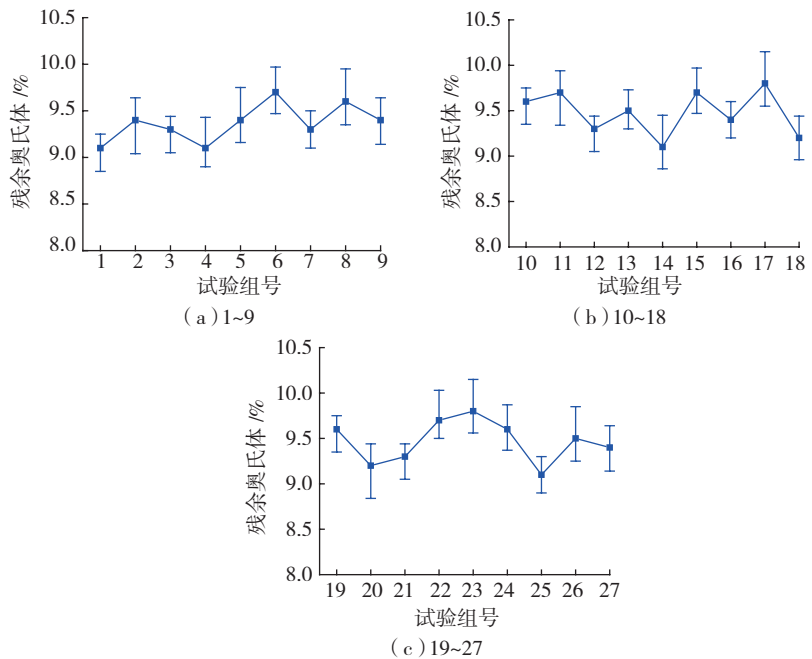


图5 残余奥氏体含量  
Fig.5 Retained austenite content

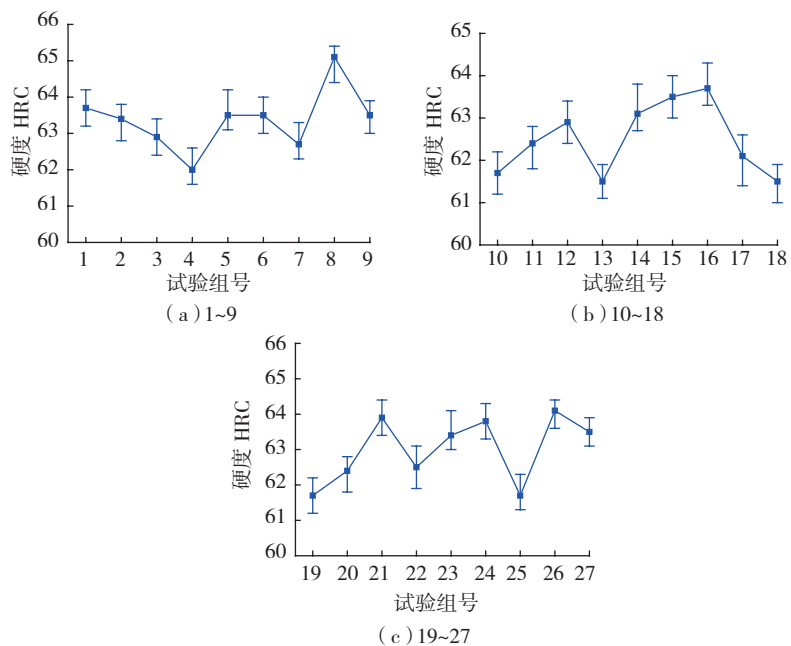


图6 轴承沟道硬度  
Fig.6 Hardness of bearing ring

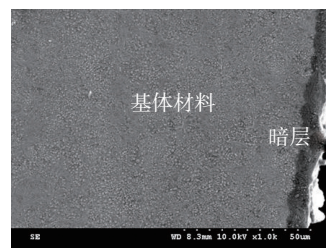


图7 磨削变质层 (7号)  
Fig.7 Grinding affected layer (No.7)

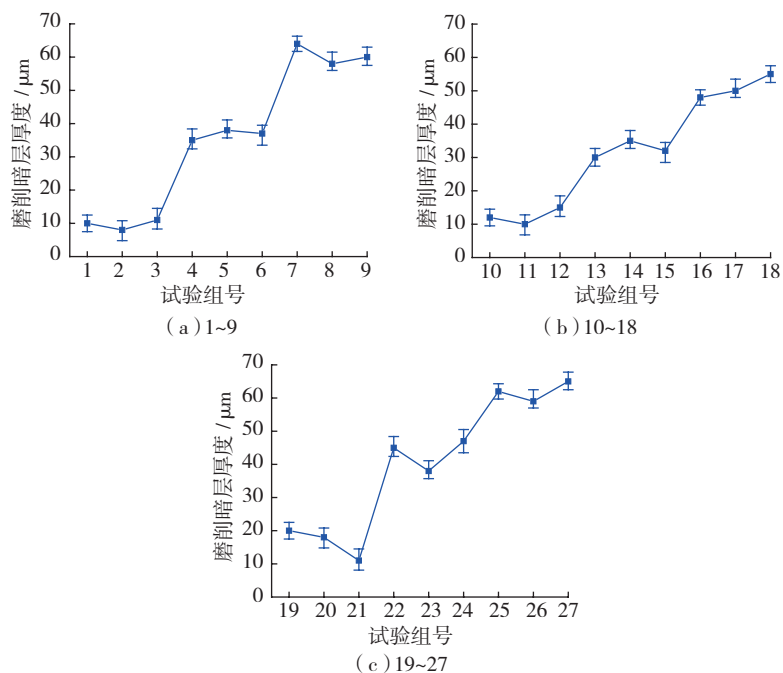


图8 磨削暗层厚度  
Fig.8 Thickness of the grinding dark layer

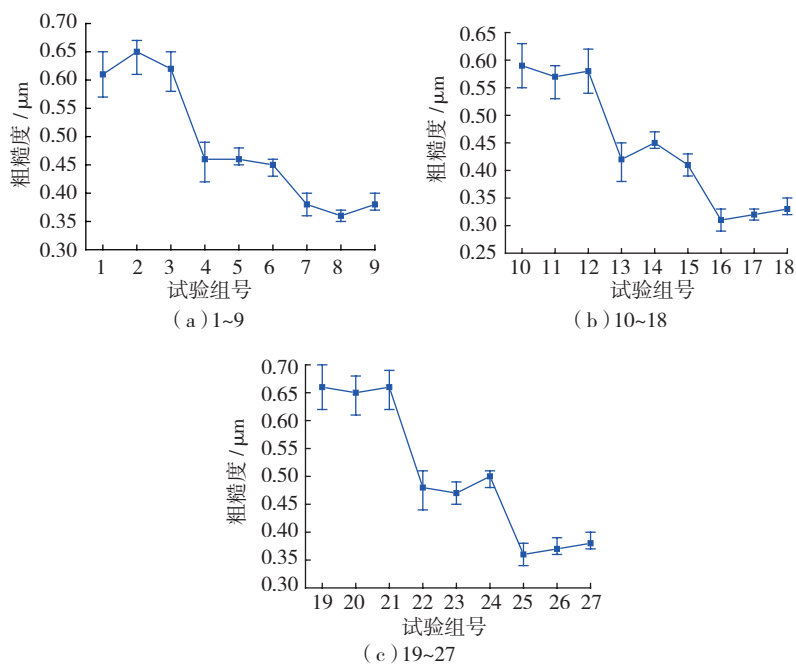


图9 磨削粗糙度  
Fig.9 Grinding roughness

承的疲劳寿命也为最大<sup>[10]</sup>。而试验编号7~9的磨削工艺磨削出轴承沟道表面残余奥氏体略微超出要求,残余奥氏体含量在9%~10%。这是因为7~9的磨削工艺采用的是9000r/min的高转速,磨削温度较高发生瞬时回火导致残余奥氏体发生

了略微分解。所以试验编号1~6、10~15、19~24的磨削工艺磨削出的轴承沟道表面残余奥氏体都是较为合理的。其余试验组号的残余奥氏体含量基本合理。

Germain等<sup>[11]</sup>指出残余压应力可以提高轴承疲劳寿命,如果存

在残余拉应力,则希望残余拉应力越小。李振等<sup>[12]</sup>指出,残余压应力有助于提高轴承疲劳寿命。综合考虑轴向和环向残余应力,试验编号1~6、10~15、19~24的磨削工艺较为合理。

Schöfer等<sup>[13]</sup>指出磨削白层可以降低轴承疲劳寿命。若存在磨削暗层,则磨削暗层厚度越小越好。桂立丰等<sup>[14]</sup>也研究了磨削变质层对轴承疲劳寿命的影响,指出磨削白层不利于疲劳寿命。试验组号1~27的磨削工艺磨削出的轴承滚道不存在磨削白层,磨削工艺较为合理。

采用低粗糙度磨削技术可以提高轴承的旋转精度。所以考虑使用合理的磨削工艺降低磨削粗糙度<sup>[15]</sup>。

同时考虑轴承沟道表面硬度、残余奥氏体、残余应力和磨削变质层,以及磨削粗糙度对轴承使用精度和寿命的影响,选取24号磨削工艺,即采用7000r/min砂轮转速、150r/min工件转速、15 $\mu\text{m}$ 磨削深度。采用试验组号24号的磨削工艺时轴承沟道的环向残余拉应力较小,轴向表面为残余压应力;轴承沟道的残余奥氏体含量和硬度值也满足要求;轴承沟道没有磨削白层。同时7000r/min的较高砂轮转速可以保证较好的轴承沟道表面几何精度。200r/min的工件转速和15 $\mu\text{m}$ 的磨削深度也保证了较高的生产效率。

## 结论

(1)全因子试验表明,砂轮转速对残余应力和磨削变质层和粗糙度的影响最大,对残余奥氏体和硬度影响较小。

(2)采用最优磨削参数磨削后,残余应力为压应力;残余奥氏体含量为9.5%左右;硬度为61HRC以上;磨削暗层厚度在30 $\mu\text{m}$ 左右,磨削粗糙度在0.4 $\mu\text{m}$ 左右。

(3)采用最优磨削参数,可以提

高轴承滚道的寿命和旋转精度,具有很好的行业推广前景。

(4) 根据给定的残余应力,残余奥氏体、硬度、磨削变质层和磨削粗糙度的要求,同时考虑磨削效率和磨削精度的要求,最终发现 7000r/min 砂轮转速、200r/min 工件转速、15 μm 磨削深度是较为合理的磨削工艺。

### 参考文献

[1] UMBRELLO D, JAWAHIR I S. Numerical modeling of the influence of process parameters and workpiece hardness on white layer formation in AISI 52100 steel[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2009, 44(9-10): 955-968.

[2] 靳九成. 磨削变质层及表面改性[M]. 长沙: 湖南大学出版社, 1988.

JIN Jiucheng. Grinding affected layer and surface modification[M]. Changsha: Hunan University Press, 1988.

[3] WEBSTER G A, EZEILO A N. Residual stress distributions and their influence on fatigue life-times[J]. International Journal of Fatigue, 2001, 23(1): 375-383.

[4] HANLON D N, RAINFORTH W M, SELLARS C M. The effect of processing route, composition and hardness on the wear response of chromium bearing steels in a rolling-sliding configuration[J]. Wear, 1997, 203-204(96): 220-229.

[5] YAJIMA E, MIYAZAKI T, SUGIYAMA T, et al. Effects of retained austenite

on the rolling fatigue life of ball bearing steels[J]. Transactions of the Japan Institute of Metals, 2007, 15(3): 173-179.

[6] EDA H, KISHI K, HASHIMOTO S. The formation mechanism of ground white layers[J]. Bulletin of JSME, 2008, 24(190): 743-747.

[7] GUO Y B, SCHWACH D W. An experimental investigation of white layer on rolling contact fatigue using acoustic emission technique[J]. International Journal of Fatigue, 2005, 27(9): 1051-1061.

[8] RAO K R M, MUKHERJEE S, RAOLE P M, et al. Low energy isothermal plasma-immersion ion implantation of nitrogen for enhanced hardness of AISI 52100 ball bearing steel[J]. Surface & Coatings Technology, 2002, 150(1): 80-87.

[9] 赵阳. 轴承硬度与耐磨性关系的探讨[J]. 高师理科学刊, 2007, 27(3): 46-47.

ZHAO Yang. Bearing hardness and wear resistance of discuss[J]. Journal of Science of Teachers' College and University, 2007, 27(3): 46-47.

[10] 钱坤, 李建鸿, 武兴斌. GCr15 钢轴承残余奥氏体与疲劳寿命试验研究[J]. 机械制造, 2009, 47(6): 78-80.

QIAN Kun, LI Jianhong, WU Xingbin. GCr15 steel bearing retained austenite and fatigue life test research[J]. Mechanical Manufacture, 2009, 47(6): 78-80.

[11] GERMAIN G, MOREL F, LEBRUN J L, et al. Effect of laser assistance machining on residual stress and fatigue strength for a bearing steel (100Cr6) and a titanium alloy (Ti

6Al 4V)[J]. Materials Science Forum, 2006, 524: 569-574.

[12] 李振, 张相琴, 张雪萍, 等. 轴承钢硬切削表面残余应力对滚动接触界面疲劳寿命的影响[J]. 上海交通大学学报, 2011, 45(1): 50-55.

LI Zhen, ZHANG Xiangqin, ZHANG Xueping, et al. The effect of residual stress on the rolling contact interface fatigue life of bearing steel hard cutting[J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2011, 45(1): 50-55.

[13] SCHÖFER J, REHBEIN P, STOLZ U, et al. Formation of tribochemical films and white layers on self-mated bearing steel surfaces in boundary lubricated sliding contact[J]. Wear, 2001, 248(1): 7-15.

[14] 桂立丰, 唐汝钧, 奚伯茂, 等. 轴承钢磨削变质层的研究[J]. 机械工程学报, 1984, 20(1): 39-50.

GUI Lifeng, TANG Rujun, XI Bomao, et al. Research on grinding metamorphic layer of bearing steel[J]. Journal of Mechanical engineering, 1984, 20(1): 39-50.

[15] 张德鑫, 刘新红. 低粗糙度磨削技术在轴承滚道加工中的探索[J]. 哈尔滨轴承, 2009, 30(3): 37-40.

ZHANG Dexin, LIU Xinhong. The exploration of low roughness grinding technology in the machining of bearing raceway[J]. Harbin Bearing, 2009, 30(3): 37-40.

通讯作者: 陈耀龙, 博士、教授, 研究方向为加工工艺、功能部件、整机设计、测试与控制, E-mail: chenzy@mail.xjtu.edu.cn.

## Study on Grinding Process of Bearing Raceway Based on Full Factorial Test

CHANG Zhou, CHEN Yaolong

(State Key Laboratory for Manufacturing Systems Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710054, China)

**[ABSTRACT]** The effect of grinding process on grinding affected layer is studied by using full factorial test. Considering residual stress, hardness, retained austenite, white layer and dark layer as research target, and selected grinding parameter. Meanwhile the effect of grinding parameter on grinding efficiency and grinding accuracy is considered. Experiments showed that the effect of wheel speed on residual stress, white layer and dark layer is very great. The effect of wheel speed on hardness and retained austenite is little. 9000r/min wheel speed leads to white layer and higher tensile residual stress. Best grinding parameter of grinding process is selected at last. This paper is of great significance for engineering guidance.

**Keywords:** Bearing raceway; Grinding affected layer; Retained austenite; Hardness; Residual stress

(责编 大漠)