

GCr15轴承钢圆锥滚子理化性能研究

王艳山^{1, 2, 3, 4, 5}, 王婵^{1, 2, 3, 4, 5}, 曾朝凡^{1, 2, 3, 4, 5}, 郝奥玄^{1, 2, 3, 4, 5}, 应佳楠^{1, 2, 3, 4, 5}

1. 洛阳轴承集团股份有限公司 河南洛阳 471039
2. 航空精密轴承国家重点实验室 河南洛阳 471039
3. 河南省高端轴承产业研究院 河南洛阳 471039
4. 河南省轴承技术创新中心 河南洛阳 471039
5. 河南省高端轴承产业创新中心 河南洛阳 471039

摘要: 本研究旨在探索更大尺寸GCr15轴承钢圆锥滚子的理化性能, 为轴承零件选材和扩大GCr15轴承钢应用提供参考。通过GCr15轴承钢圆锥滚子理化性能研究, 有效直径35mm的圆锥滚子表层显微组织、表层硬度、心部显微组织均符合标准推荐要求, 心部硬度低于标准推荐值59HRC的区域径向尺寸占比25.37%, 轴向尺寸占比39.37%, 其中低于淬硬值58HRC的区域径向尺寸占比12.11%, 轴向尺寸占比23.36%。为满足标准推荐值要求, GCr15轴承钢圆锥滚子可选材应用尺寸到有效直径为26.12mm; 为满足淬硬值需要, GCr15轴承钢圆锥滚子可选材应用尺寸到有效直径为30.76mm。在满足使用要求的前提下, 用户和制造厂可协商确定更大尺寸的应用, 以获得良好的性价比。

关键词: GCr15高碳铬轴承钢; 圆锥滚子; 选材

Research on physical and chemical properties of GCr15 bearing steel conical roller

WANG Yanshan^{1, 2, 3, 4, 5}, WANG Chan^{1, 2, 3, 4, 5}, ZENG Zhaofan^{1, 2, 3, 4, 5}, HAO Aoxuan^{1, 2, 3, 4, 5}, YING Jianan^{1, 2, 3, 4, 5}

1. Luoyang Bearing Group Co., Ltd., Luoyang 471039, Henan, China
2. Key Laboratory of Aviation Precision Bearing, Luoyang 471039, Henan, China
3. Henan High end bearing Industry Research Institute, Luoyang 471039, Henan, China
4. Bearing Technology Innovation Center of Henan Province, Luoyang 471039, Henan, China
5. Henan Province High-end Bearing Industry Innovation Center, Luoyang 471039, Henan, China

Abstract: This study aims to explore the physical and chemical properties of larger GCr15 bearing steel tapered rollers, providing reference for material selection of bearing parts and expanding the application of GCr15 bearing steel. Through the study of the physical and chemical properties of GCr15 bearing steel tapered rollers, it was found that the surface microstructure, surface hardness, and core microstructure of the tapered roller with an effective diameter of 35mm meet the recommended standard requirements. The radial size of the area with a core hardness lower than the recommended standard value of 59HRC accounts for 25.37%, and the axial size accounts for 39.37%. Among them, the radial size of the area with a hardness lower than 58HRC accounts for 12.11%, and the axial size accounts for 23.36%. To meet the recommended value requirements of the standard, GCr15 bearing steel tapered rollers can be selected and applied with dimensions up to an effective diameter of 26.12mm; To meet the quenching value requirements, GCr15 bearing steel tapered rollers can be selected and applied to an effective diameter of 30.76mm. On the premise of meeting the usage requirements, users and manufacturers can negotiate to determine a larger size application to achieve a good performance price ratio.

Keywords: GCr15 high carbon chromium bearing steel; tapered roller; material selection

1 序言

轴承零件的工作条件非常复杂和苛刻，对其性能要求非常严格，除具有很高的强度、硬度、接触疲劳强度和耐磨性外，还需要有一定的韧性、耐蚀性及尺寸稳定性等，因此轴承钢中使用最多的是高碳铬轴承钢，最具有代表性的是GCr15，其使用量占轴承钢的绝大部分^[1-4]。

圆锥滚子轴承因其高强度、高承载能力，并且可以同时承受径向和轴向载荷等特点，所以在汽车、铁路、机床和矿山等大型机械设备中被广泛应用，是滚动轴承中仅次于深沟球轴承的应用最广泛的一类轴承，也是整个机械回转系统支撑部件中最重要的部件之一。而圆锥滚子轴承的使用寿命很大程度上取决于滚子理化性能和加工精度。材料是影响轴承各项性能的重要因素，也是影响轴承制造成本的重要因素，因此合理地选择轴承材料，可以使轴承在满足使用要求的前提下，降低制造成本，或在制造成本最低的情况下获得良好的性能价格比^[5, 6]。

采用更高淬透性的高碳铬轴承钢新钢种或渗碳轴承钢固然可以提高圆锥滚子轴承的使用寿命，但在保证轴承的使用工况和性能要求的前提下，应发展新质生产力，简化统型，降低生产成本，实现低碳经济和绿色发展，提高产品的市场适应能力。本研究旨在探索更大尺寸GCr15轴承钢圆锥滚子的理化性能，为轴承零件选材和扩大GCr15轴承钢应用提供参考。

2 圆锥滚子材料和加工过程

圆锥滚子一般加工选用棒料或盘料下料，采用冷墩、软帘工艺得到初步轮廓的坯料，之后软磨滚动面和端面得到一定尺寸精度车工件滚子，再经热处理（淬火+低温回火）和磨加工获得高硬度及高精度的成品滚子。

充分考虑当下现行轴承钢制零件圆锥滚子的制造和应用情况，本研究选材为满足GB/T 18254—2016《高碳铬轴承钢》的球化退火态GCr15高碳铬轴承钢，化学成分见表1。圆锥滚子加工过程：选材→下料→冷墩成形→窜环带→软磨滚动面→软磨端面→热处理(855℃盐浴淬火+170℃×4h回火)→窜氧化皮→粗磨→细磨→超精→清洗→终检→涂油包装。成品尺寸公称直径36.592mm，长度68.07mm。

圆锥滚子成品无磕碰伤、锈蚀、花斑及污物附着，整体外观颜色均匀，如图1所示。

表1 GCr15高碳铬轴承钢化学成分（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Mo	P	S	Ti
检测值	0.98	0.27	0.32	1.45	0.04	0.012	0.008	0.0014
标准值	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.40~1.65	≤0.10	≤0.025	≤0.020	≤0.0050



图1 GCr15轴承钢圆锥滚子成品

3 理化性能检测方法

GCr15轴承钢制圆锥滚子经过常规马氏体淬火+回火工艺处理至成品，选取任意滚子按照现行轴承行业国家标准^[7]进行表面脱碳、软点冷酸洗、表层和心部屈氏体、表层和心部马氏体，以及硬度等理化性能检测。

(1) 表面脱碳和软点冷酸洗检测 选取成品圆锥滚子经喷砂和除油清洗，在室温下进行硝酸水溶液冷酸洗检查表面软点。

(2) 表层和心部屈氏体检测 将滚子沿纵断面（小端面中心至大端面中心）线切割，磨平整抛光经2%~4%的硝酸酒精溶液轻度浸蚀，金相显微镜观察表层和心部显微组织。

(3) 表层和心部马氏体检测 经2%~4%的硝酸酒精溶液中度浸蚀，金相显微镜观察表层和心部显微组织。

(4) 硬度检测 将成品圆锥滚子沿有效直径35mm处（距大端面 $H/3$ ， H 为滚子长度）线切割截取平面，磨平面制取硬度检测试样，检测表面至中心硬度。另外，将成品圆锥滚子沿小端面中心至大端面中心线切割截取平面，磨平面制取硬度检测试

样，检测中心线硬度。

4 理化性能结果与讨论

经冷酸洗检测，表面呈均匀一致的暗灰色，未发现表面脱碳和软点，如图2所示。



图2 GCr15轴承钢圆锥滚子酸洗检测

轻度浸蚀后采用金相显微镜观察显微组织，表层未见针状或块状屈氏体，金相组织如图3所示。而心部可见较多均匀分布的黑色针状屈氏体，按照标准第三级别图评级为屈氏体2级，金相组织如图4所示。

中度浸蚀后采用金相显微镜观察显微组织，表层可见细小针状马氏体和细小均匀的碳化物组织，



图3 GCr15轴承钢圆锥滚子表层屈氏体检测



图4 GCr15轴承钢圆锥滚子心部屈氏体检测

按照标准第二级别图评级马氏体为3级，金相组织如图5所示。心部同样可见细小针状马氏体和细小均匀的碳化物组织，并存在较多均匀分布的黑色针状屈氏体，按照标准第二级别图评级马氏体为3级，金相组织如图6所示。

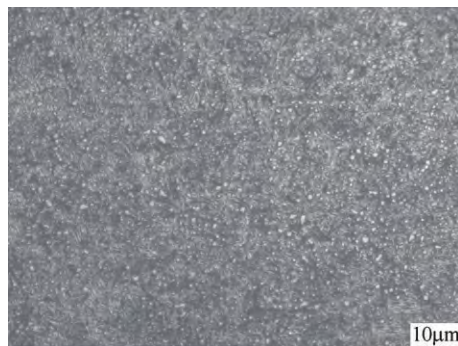


图5 GCr15轴承钢圆锥滚子表层马氏体检测

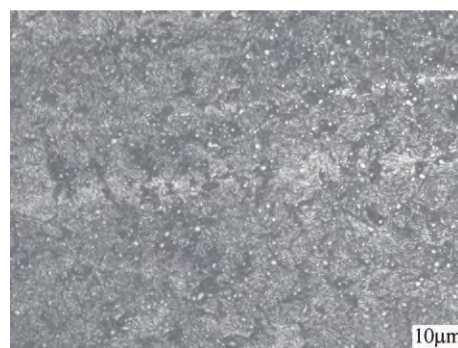


图6 GCr15轴承钢圆锥滚子心部马氏体检测

圆锥滚子表层至心部硬度依次降低，表面硬度值60.5HRC，心部最低值56.7HRC。标准推荐值59HRC对应距表面距离13.06mm，淬硬值58HRC对应距表面距离15.38mm。有效直径处表层至中心硬度如图7所示。标准推荐值59HRC对应距小端面中心距离23.2mm和50mm，淬硬值58HRC对应距小端面中心距离31.4mm和47.3mm。小端面至大端面中心截面硬度分布如图8所示。

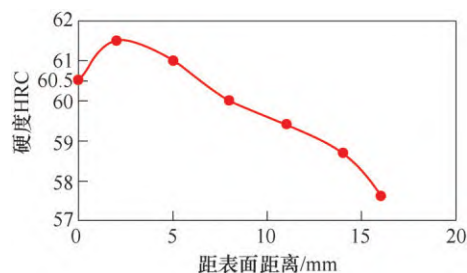


图7 GCr15轴承钢圆锥滚子有效尺寸处截面硬度分布

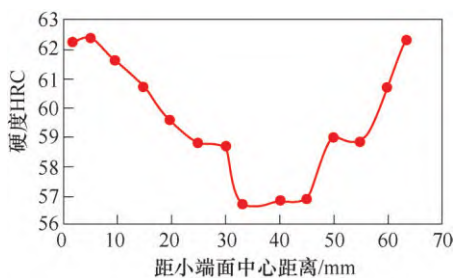


图8 GCr15轴承钢圆锥滚子小端面至大端面中心截面硬度分布

经表面脱碳和软点冷酸洗检测、表层和心部屈氏体检测、表层和心部马氏体检测，这些理化性能均符合标准推荐要求，表层硬度也符合标准推荐值，心部一定区域硬度值略低于推荐值（59HRC），其区域为径向距表面距离13.06mm以上，径向尺寸占比25.37%，轴向距小端面中心23.2~50mm，轴向尺寸占比39.37%，其中低于淬硬值（58HRC）的区域为径向距表面距离15.38mm以上，径向尺寸占比12.11%，轴向距小端面中心31.4~47.3mm，轴向尺寸占比23.36%。这些理化性能由钢的淬透性和热处理工艺决定。

钢的淬透性是指钢在淬火时能够获得马氏体的能力，它是钢材本身固有的一个属性。淬透性实际上是受珠光体或贝氏体转变的孕育期所控制，凡抑制珠光体或贝氏体等过冷奥氏体分解产物形核的因素均能提高钢的淬透性。影响淬透性的因素有合金元素（化学成分）、奥氏体化温度、钢中未溶第二相、钢的原始组织，其中合金元素的影响是关键^[6]。当轴承零件选材确定，即材料化学成分基本确定，可通过热处理工艺（奥氏体化温度、升温速率、保温时间、冷却介质、回火温度及时间）来获得不同的硬度和显微组织。随着科技发展，热处理工艺装备水平和淬火冷却介质都有所提高，应用同种材料其轴承零件硬度和显微组织也有不同程度改善。终究合金元素是影响钢淬透性的关键因素，因淬透性限制，GCr15轴承钢制圆锥滚子心部硬度值略低于推荐值（59HRC）。GB/T 34891—2017《滚动轴承高碳铬轴承钢零件热处理技术条件》^[7]中，对轴承零件马氏体淬回火后的硬度特别注明“对于尺寸段的划分及对应的硬度要求，制造厂与用户可根据轴承的使用工况和性能要求协商确定”，为制造厂和用户提供了选择空间。

5 结束语

通过对GCr15轴承钢圆锥滚子的理化性能进行研究，得出有效直径35mm的圆锥滚子表层显微组织、表层硬度和心部显微组织均符合标准推荐要求，心部硬度低于标准推荐值（59HRC）的区域径向尺寸占比25.37%，轴向尺寸占比39.37%，其中低于淬硬值（58HRC）的区域径向尺寸占比12.11%，轴向尺寸占比23.36%。为满足标准推荐值要求，GCr15轴承钢圆锥滚子可选材应用尺寸到有效直径为26.12mm；为满足淬硬值需要，GCr15轴承钢圆锥滚子可选材应用尺寸到有效直径为30.76mm。在满足使用要求的前提下，用户和制造厂可协商确定更大尺寸的应用，以获得良好的性价比。

参考文献：

- [1] 宗斌, 魏建忠, 王国红. GCr15轴承钢淬火马氏体的分析[J]. 理化检验 (物理分册), 2004, 40 (11): 581-583.
- [2] 刘美冬. GCr15钢轴承套圈碳氮共渗后表面金相黑色组织分析[J]. 金属加工 (热加工), 2019 (9): 60-61.
- [3] 崔鸿, 李涛, 马永强. A485标准钢种与国标GCr15SiMn轴承钢淬透性的对比[J]. 钢铁研究, 2015, 43 (3): 23-25.
- [4] 潘治州. 高碳轴承钢的强韧化与疲劳磨损行为研究[D]. 徐州: 中国矿业大学, 2022.
- [5] 尤绍军, 严枫, 陈文君, 等. 轴承零件的选材及热处理[J]. 金属热处理, 2004, 29 (9): 26-31.
- [6] 林枫, 丛兵兵, 黄晓辉. 轴承常用材料概述[J]. 哈尔滨轴承, 2005, 26 (2): 41-43.
- [7] 全国滚动轴承标准化技术委员会. 滚动轴承 高碳铬轴承钢零件热处理技术条件: GB/T 34891—2017[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018.
- [8] 叶健熠, 李元侦, 王智勇. 三种高淬透性轴承钢的主要工艺与性能对比分析[J]. 金属加工 (热加工), 2010 (15): 16-21.

MW 20240715