

# 轧机轴承渗碳钢的选择和渗碳层的设计

洛阳轴承研究所(471039) 杨晓蔚<sup>①</sup>

**【ABSTRACT】** General loading condition of rolling mill bearings is medium - heavy load and shock load, thus the most suitable material is carburizing bearing steel. Selection of carburizing steel for rolling mill bearings and design of carburized layer are introduced by practical way as viewed from product design. In the meantime, it is indicated that for the sake of finally obtaining desired results, carburizing heat - treatment technology must be pledged effectively to the contents and requirements of related material design.

轧机轧辊轴承的一般载荷条件为中重载荷和冲击载荷,因此,最适用的材料为渗碳轴承钢。渗碳钢的主要优点是表面硬度高,耐磨损;心部韧性好,抗冲击;渗碳硬化层能形成较高的残余压应力,表层裂纹不易向内部扩展;滚动接触疲劳强度高。

由于轧机轴承承受复杂载荷的特点,因而在进行产品设计时,有关的“材料设计”就成为其中的一项十分关键的内容。而材料设计主要包括两个方面,即渗碳钢的选择和渗

碳层的设计。

## 一、渗碳钢的选择

轧机轴承一般均采用结构钢类型的低碳合金渗碳钢。

国际上各主要轴承工业国家用于轧机轴承制造的渗碳钢的钢种较多,虽然基本类型相同,但材料牌号和化学成分不尽一致。现将各国常用钢材牌号列于表1,其相应对照仅供参考。

表1 各主要轴承工业国家常用渗碳钢牌号及对照

美国	日本	德国	英国	法国	俄罗斯	中国
AISI3310			EN36A	14NC12	12XH3A	12CrNi3(A)
AISIE3316					20X2H4A	20Cr2Ni4(A)
AISI4320	SNCM420H		EN325			20CrNi2Mo(A)
AISI4620			EN34	20ND8	20HM	
AISI8620	SNCM220H		EN362	20NCDZ		20CrNiMoA
AISI9310			EN36C			10CrNi3Mo(A)
	SCM420H	20CrMo5		18CD4	20XM	20CrMo(A)
	SNCM815		EN39B	12NC15		
		17CrNiMo6				
		17NiCrMo14				

选用何种渗碳钢较为合适,最重要的依据是轴承零件的截面尺寸大小。对于套圈以

有效壁厚  $\delta$  计(一般也常用与  $\delta$  直接相关的套圈外径  $D$  作为判据);对于滚动体以有效直径  $D_{ore}$  计。其目的是应保证渗碳零件具有足够的淬透性,以满足最终的使用要求。

<sup>①</sup>作者系轴研所副总工程师、高级工程师——编者注

以美国渗碳钢作为典型实例,其一般性选用原则是:当  $\delta(D_{\text{心}}) < 20 \text{ mm}$  或  $D < 200 \text{ mm}$  时,可选用 AISI8620,其心部强度高但韧性略差;当  $20 \text{ mm} \leq \delta(D_{\text{心}}) < 30 \text{ mm}$  或  $200 \text{ mm} \leq D < 400 \text{ mm}$  时,可选用 AISI4320,其心部强度和韧性均适中;当  $\delta(D_{\text{心}}) \geq 30 \text{ mm}$  或  $D \geq 400 \text{ mm}$  时,可选用 AISI9310,其心部强度较高且具有一定的韧性。

我国轧机轴承在实用中可供选择的国产渗碳钢的钢种较少,最为常用且为现行标准规定的仅为 20Cr2Ni4(A),其他一些钢种如 10CrNi3Mo(A)等仅有少量应用。

轧机轴承在以渗碳钢为主体选用材料的前提下,还形成了可以组合选用材料的技术惯例。即,或者套圈和滚动体均采用渗碳钢;或者仅内圈和滚动体采用渗碳钢而外圈采用高碳铬轴承钢;或者套圈采用渗碳钢而滚动体采用轴承钢;或者仅滚动体采用渗碳钢而套圈采用轴承钢等。

## 二、渗碳层的设计

轧机轴承的失效形式主要是疲劳剥落,因此,在对渗碳零件进行渗碳层设计时,通常均以如何保证能获得较高的接触疲劳强度为首要准则。

实践证明,渗碳零件的疲劳强度与表面硬度、心部硬度和渗碳层深度有直接影响。对于表面硬度,要求应与轴承钢一样,达 60 HRC 以上(一般规定为 60~64 HRC,特大型或深层渗碳零件为 59~63 HRC);对于心部硬度,试验表明当处于 30~45 HRC 的范围内时,零件具有最佳的疲劳强度;对于渗碳层,则应保证具有一定的强度或硬度梯度分布,其有效渗碳硬化层深度,应远远超过由于接触载荷而在零件表层内产生的最大交变切应力  $\tau_0$  和最大静态切应力  $\tau_s$  作用之处。

当表面硬度和心部硬度一经确定,则最为关键的就是包括有效渗碳硬化层深度计算在内的渗碳层设计。

渗碳层深度一般由零件的截面尺寸和承受载荷的大小来决定。中小型或承载较低的零件,渗碳层可较浅,大尺寸或承载较高的零件,渗碳层应较深。渗碳层较要求深度过浅或过深,均会对零件的使用性能产生不利影响。

渗碳层深度的确定,在具体定量处理上比较复杂。尽管已有许多相关标准和规范给出一些规定,但仅仅是针对常规零件的一般用途而言。如何计算选择最适宜的渗碳层深度,至今还没有一个统一的认识。

根据接触应力设计渗碳层是目前较为认可和通行的可以适用于滚动轴承的一种方法。许多轴承公司在轧机轴承的设计生产中不仅引入了实用,而且还在有关试验中得到了很好的实证。

为了有效防止疲劳剥落,渗碳层中的抗剪强度分布应满足下列关系式:

$$\frac{\tau_{xy}}{\tau_s} \leq 0.55 \quad (1)$$

式中  $\tau_{xy}$ ——与接触面呈  $45^\circ$  角的静态切应力, N

$\tau_s$ ——抗剪强度, MPa

根据 Hertz 理论,当材料相同的两圆柱体接触时:

$$\tau_{xy} = \frac{P_{\text{max}} Z}{b} \left( 1 - \frac{Z}{\sqrt{b^2 + Z^2}} \right) \quad (2)$$

$$P_{\text{max}} = \sqrt{\frac{QE\Sigma\rho}{2\pi(1-\nu^2)l}} \quad (3)$$

$$b = \sqrt{\frac{8Q(1-\nu^2)}{\pi E l \Sigma\rho}} \quad (4)$$

式中  $P_{\text{max}}$ ——最大接触压力, MPa

$b$ ——接触椭圆短半轴, mm

$Z$ ——接触面下深度, mm

$Q$ ——接触体载荷, N

$l$ ——接触有效长度, mm

$E$ ——弹性模量, MPa

$\nu$ ——泊松比

$\Sigma\rho$ ——主曲率和,  $1/\text{mm}$

对于渗碳钢,  $E = 2.07 \times 10^5 \text{ MPa}$ ,

$v=0.3$ , 则可将(3)式和(4)式简化为

$$P_{max} = 190.3 \sqrt{\frac{Q\Sigma\rho}{l}} \quad (5)$$

$$b = 3.35 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{Q}{l\Sigma\rho}} \quad (6)$$

$\tau_s$  的数值, 一般可利用抗剪强度与维氏硬度之间的关系求得, 即

$$\begin{aligned} \tau_s &= \frac{HV}{6} \times 9.8 \\ &= 1.63 HV \end{aligned} \quad (7)$$

对于淬硬渗碳钢的硬度, 一般常用洛氏硬度值表示。洛氏硬度 HRC 和维氏硬度 HV 之间的换算值列于表 2。

将(7)式代入(1)式, 可得渗碳层中应保证的硬度分布:

$$HV \geq 1.11\tau_s \quad (8)$$

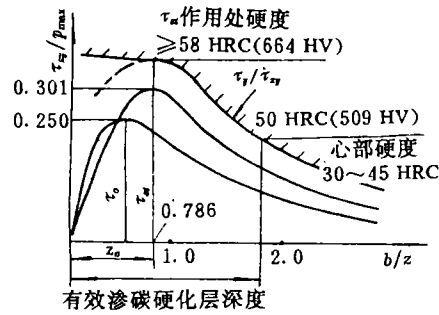
确定渗碳层中的硬度分布时, 还应注意必须首先遵循几个基准硬度的要求, 即表面硬度 60~64 HRC(713~825 HV)或 59~63 HRC(688~795 HV); 心部硬度 30~45 HRC(289~436 HV); 以及同等重要的, 在最大静态切应力  $(\tau_{sz})_{max} = \tau_{sz} = 0.301P_{max}$  作用的  $Z = Z_0 = 0.7866$  之处, 应保证硬度为 58 HRC(664 HV)以上。

表 2 洛氏硬度 HRC 和维氏硬度 HV 的换算表

HRC	HV	HRC	HV	HRC	HV
66	889	52	543	38	357
56	856	51	525	37	347
64	825	50	509	36	338
63	795	49	493	35	329
62	766	48	478	34	320
61	739	47	463	33	312
60	713	46	449	32	304
59	688	45	436	31	296
58	664	44	423	30	289
57	642	43	411	29	281
56	620	42	399	28	274
55	599	41	388	27	268
54	579	40	377	26	261
53	561	39	367	25	255

渗碳层的抗剪强度及硬度分布的示意如

图所示。



在设计渗碳层时, 最关心的一个参数是有效渗碳硬化层深度  $DC$ , 即硬度为 50 HRC(509 HV)处至表面的垂直距离。另外, 550 HV 也是一个常用于标定  $DC$  的硬度值。根据(8)式所示的 HV 与  $\tau_s$  的关系进行图解或求解, 对应于 509 HV(或 550 HV)的  $Z$  值, 即是所求的  $DC$  值。

现以轧机轧辊用四列圆柱滚子轴承 FCD84116400 为例, 求内圈和滚子渗碳层硬度分布和有效渗碳硬化层深度, 仅供参考说明。

已知滚子直径  $D_{wr} = 40$  mm, 滚子有效长度  $L_{wr} = 62.6$  mm, 滚子列数  $i = 4$  列, 一列滚子数量  $Z = 32$  个, 内圈滚道直径  $d_r = 463$  mm, 轴承径向载荷  $F_r = 2\,500\,000$  N。

$$\begin{aligned} Q_{max} &= \frac{4.08F_r}{i^{7/9}Z} \\ &= 108438(\text{N}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma\rho &= \frac{2}{D_{wr}} + \frac{2}{d_r} \\ &= 0.054(1/\text{mm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{max} &= 190.3 \sqrt{\frac{Q_{max}\Sigma\rho}{L_{wr}}} \\ &= 1841(\text{MPa}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} b &= 3.35 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{Q_{max}}{L_{wr}\Sigma\rho}} \\ &= 0.600(\text{mm}) \end{aligned}$$

故可得

$$HV \geq 1.11\tau_{st}$$

$$= \frac{P_{max}Z}{b} \left( 1 - \frac{Z}{b^2 + Z^2} \right)$$

$$= 30\ 68.3Z \left( 1 - \frac{Z}{0.360 + Z^2} \right)$$

将不同的  $Z$  值代入后,可得相对应的 HV 值如表 3 所示。以此为据,即可作出渗碳内圈和滚子的硬度分布曲线。其中,几个重要

的参数值为

$$\tau_{st} = 554 \quad (\text{MPa})$$

$$Z_{st} = 0.472 \quad (\text{mm})$$

$$DC_{50\text{HRC}} = 0.919 \quad (\text{mm})$$

$$DC_{55\text{HV}} = 0.783 \quad (\text{mm})$$

另外,相对于  $Z=0.783$  mm 至表面的表层硬度,应修正至 664 HV(58 HRC)以上。

表 3  $Z_{st}$ 、 $\tau_{st}$ 和 HV 计算数值

$Z_{st}(\text{mm})$	0.500	0.783	0.800	0.919	1.000	1.500	2.000
$\tau_{st}(\text{MPa})$	552	496	491	459	437	329	259
HV	613	550	545	509	485	365	287

### 三、结论

轧机轴承是一种专用轴承,其承载特性决定了其最适用的材料为渗碳钢,但既使是在合理选材的条件下,渗碳零件也只有获得良好的渗碳质量,才能充分发挥渗碳钢本身具有的优越性能。

本文仅从产品设计的角度对轧机轴承渗碳钢的选择和渗碳层的设计作了实用性介绍。但是,更重要的是,对于有关材料设计的内容和要求,还必须通过渗碳热处理工艺的有效保证,才能够付诸实现,最终获得预期的效果。

文中关于渗碳层设计的原则和方法,同样适用于表面淬火钢制零件的硬化层设计。

### 参 考 文 献

- 1 温守怡等. 轧辊轴承. 洛阳轴承研究所, 1983.
- 2 (日)角田和雄等. 滚动轴承工程学. 杨鸿铨等译. 贵州机械研究所, 1980.
- 3 王万智等. 钢的渗碳. 北京: 机械工业出版社, 1985.
- 4 陈仁悟等. 化学热处理原理. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- 5 万长森. 滚动轴承的分析方法. 北京: 机械工业出版社, 1988.
- 6 日本 NSK 轧机轴承. 盛克礼译. 国外轴承, 1984 (4): 31~34

7 滚动轴承热处理. 洛阳轴承研究所, 1974.

8 GB1172-74《黑色金属硬度及强度换算值》.

9 ZBJ36001-86《滚动轴承零件渗碳热处理质量标准》.

10 ZBJ36002-86《滚动轴承零件深层渗碳热处理质量标准》.

(收稿日期: 1996-07-16)

(编辑: 吕成银)

### 书 讯

### 滚动轴承与现代 带座轴承的选用

该书由国内带座轴承出口基地——广东省东莞市 TR 轴承集团有限公司编写, 由江森奎高级工程师主编。全书共两篇, 356 页。第一篇系统介绍了滚动轴承的结构、代号、选择、计算、性能、安装、拆卸、使用、维护和保管等方面的内容; 第 2 篇系统介绍了现代带座轴承的结构、代号、性能、选择、计算、应用和国内外发展等方面的内容, 并列出了大量最新的实用性工程数据和应用实例。该书无论对合理选用轴承, 提高轴承使用寿命, 还是对轴承生产、结构和性能的改进以及提高轴承质量等, 均具有较高的实用价值。此外, 该书对轴承行业的科研、技术开发以及人员培训等也具有较高的参考价值。

本刊编辑部为方便读者, 特购回一批该书, 有需购者请将书款直接邮汇给我所信息档案部李立同志(请注明“购带座轴承书款”)。该书每本 40 元(含包装、邮寄费)。

轴承编辑部

• 17 •

## 本期内容摘要

**孙笠强. 深沟球轴承几何参数对其使用性能的影响. 轴承, 1997(5):2~6**

内外沟道的曲率半径和球直径作为主要几何参数,对轴承的使用性能起着至关重要的作用。分析结果表明,内沟道的曲率半径对其使用性能的影响比外沟道曲率半径的影响大,而球直径变化的影响较缓。附图 7 幅,表 1 个,参考文献 5 篇。

**叙词:深沟球轴承 沟道 曲率 几何参数 性能**

**田怀璋,李新中,吴业正. 球轴承在真空低温条件下的热导计算. 轴承, 1997(5):7~10**

根据传热学原理和轴承静态热导的实验数据,提出了轴承静态热导的一种计算方法,并给出了计算式。通过球轴承的热导试验,验证了所提出的球的热传导模型和轴承热导的计算方法的合理性。附图 6 幅,参考文献 8 篇。

**叙词:球轴承 热传导 真空 低温**

**王志宏. 变速传动轴承内齿廓顶切分析. 轴承, 1997(5):11~13**

变速传动轴承是一种类似于行星摆线传动和活齿传动的传动元件。介绍了它的结构和工作原理;分析了内齿圈齿廓产生顶切的原因及影响;阐述了避免产生顶切的方法和条件。附图 5 幅。

**叙词:变速轴承 内齿轮 齿顶 齿廓**

**杨晓蔚. 轧机轴承渗碳钢的选择和渗碳层的设计. 轴承, 1997(5):14~17**

轧机轴承一般载荷条件是中重载荷和冲击载荷,因此,最适用的材料为渗碳轴承钢。从产品设计的角度对轧机轴承渗碳钢的选择

和渗碳层的设计作了实用性介绍。同时指出了对于有关材料设计的内容和要求,还必须通过渗碳热处理工艺的有效保证,最终获得预期的效果。附图 1 幅,表 3 个,参考文献 10 篇。

**叙词:轧机轴承 渗碳钢 渗层**

**赵联春,张重成,曲廷敏. 球轴承工艺误差激振的力学模型. 轴承, 1997(5):18~24**

在全面考虑了轴承零件工作表面几何误差的基础上,建立了球轴承测振状态下的振动力学模型。对工艺误差引起轴承振动的频率与幅值特性进行了深入的研究,得到了一些对控制轴承振动有一定指导意义的结论。附图 5 幅,表 2 个,参考文献 5 篇。

**叙词:球轴承 工艺 误差 激振 数字模型**

**邱淑英,陆兴邦. 3MZ319 球轴承内圈沟道超精研机. 轴承, 1997(5):25~29**

介绍了大型球轴承套圈沟道超精研的基本原理及有关工艺参数,叙述了该机床的结构特点。生产实践表明,3MZ319 球轴承内圈沟道超精研机布局合理,结构紧凑,性能稳定,解决了人工超精加工大型球轴承内圈沟道的生产难题。附图 6 幅。

**叙词:球轴承 内圈 沟道 超精加工机**

**张秀吉,张文秋,蔡冬萍. 多功能兜孔镗床的研制. 轴承, 1997(5):30~32**

DGHBT 多功能兜孔镗床为半自动机床,主要用于铁路轴承保持架兜孔加工,也可加工铸铜、铸铝材料实体保持架。介绍了该设备的主要技术参数和凸轮进给机构。附图 2 幅。

**叙词:镗床 铁路轴承 保持架 兜孔**

# 轴承

月刊(1958年创刊)  
第5期(总第210期)  
1997年5月出版

主编:邓流芳 副主编:朱学骏 责任编辑:吕成银

编委会主任:曹诚梓

编委会副主任:赵金库 邓流芳 刘成斌  
陈春韬 何加群 张长安  
曹瑞 胡伯熙

## 目次

## CONTENTS

### 产品设计与应用

- 深沟球轴承几何参数对其使用性能的影响 ..... 孙鋈强(2)
- 球轴承在真空低温条件下的热导计算 ..... 田怀璋等(7)
- 变速传动轴承内齿廓顶切分析 ..... 王志宏(11)
- 轧机轴承渗碳钢的选择和渗碳层的设计 ..... 杨晓蔚(14)

### 工艺与装备

- 球轴承工艺误差激振的力学模型 ... 赵联春等(18)
- 3MZ319球轴承内圈沟道超精研机 ..... 邱淑英等(25)
- 多功能兜孔镗床的研制 ..... 张秀吉等(30)
- 解决可编程控制器应用中的一个棘手问题 ..... 朱心厚(32)

### 材料分析

- GCr15钢球的表面形变强化性能 ... 梅亚莉等(34)

### 测量与仪器

- 沟道形位误差对配套仪测量精度的影响 ..... 孟万根(38)
- 球轴承径向振动频谱的计算机模拟 ..... 刘春浩等(41)

- Influence of Geometrical Parameters of Deep Groove Ball Bearing on Its Operational Performance ..... Sun Junqiang(2)
- Heat Transfer Calculation of Ball Bearings under Vacuum and Cryogenic Condition ..... Tian Huaizhang, et al.(7)
- Selection of Carburizing Steel for Rolling Mill Bearings and Design of Carburized Layer ..... Yang Xiaowei(14)
- Mechanics Model of Exciting Vibration Caused by Technological Error for Ball Bearings ..... Zhao Lianchun, et al.(18)
- 3MZ319 Ball Bearing Inner Ring Raceway Superfinishing Machine ..... Di Shuying, et al.(25)
- Surface Deformation Peening Property of GCr15 Steel Balls ... Mei Yali, et al.(34)
- Influence of Form and Position Deviation of Raceway Groove on Measuring Accuracy of Two Kind Matching Instruments ..... Meng Wangen(38)
- Computer Imitation of Ball Bearing Radial Vibration Frequency Spectrum ..... Liu Chunhao, et al.(41)

主办单位:机械工业部洛阳轴承研究所  
编辑出版:轴承杂志社  
彩色印刷:郑州市京华商标印刷厂  
内文印刷:荥阳市教育印刷厂  
国内总发行:洛阳市邮电局

订购处:国内各地邮局  
刊号:ISSN 1000-3762  
CN 41-1148/TH  
邮发代号:36-17  
广告经营许可证:洛工商广字008号  
每本定价:3.00元

本刊地址:河南省洛阳市吉林路 邮编:471039 电话:(0379)4921301转307 传真:(0379)4926248