

铁路货车轴承 失效机理及伤损图谱

杜永明 刘吉远 张 斌 编著

中国铁道出版社

CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

铁路货车轴承失效机理及伤损图谱

杜永明 刘吉远 张 斌 编著
吴国栋 主审

中国铁道出版社

2015年·北京

内 容 简 介

本书针对国内铁路货车轴承运用过程中所发现的伤损问题进行了系统梳理和归纳总结,研究探讨了我国铁路货车轴承寿命的影响因素和轴承失效产生的机理。同时,在大量轴承伤损失效案例研究的基础上,按照伤损类型、表现形式等要素对已积累的分析及研究成果进行系统编辑和整理。本图谱共收录了中国铁路货车轴承在几十年运用过程中所发生或发现的各类典型伤损的宏观照片,还收集了部分典型伤损案例的微观照片,对轴承型号、使用情况、运用周期等运用和维护信息进行了记录,图谱中附有必要的故障描述和伤损原因分析。

本书可供货车轴承设计人员、工艺人员、生产人员、货车系统的检修和运用人员参考使用,也可作为相关专业人员培训参考教材,并为生产企业提高轴承产品质量、开发更为适合铁路货运的新产品提供指导。

图书在版编目(CIP)数据

铁路货车轴承失效机理及伤损图谱/杜永明,刘吉远,
张斌编著. —北京:中国铁道出版社,2015. 12
ISBN 978-7-113-21117-2

I. ①铁… II. ①杜… ②刘… ③张… III. ①铁路车辆—
货车—轴承—失效机理—图谱 IV. ①U279. 3-64

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 274275 号

书 名:铁路货车轴承失效机理及伤损图谱
作 者:杜永明 刘吉远 张 斌 编著

责任编辑:王明容 编辑部电话:021-73138 电子信箱:tdpress@126.com
编辑助理:李润华
封面设计:崔 欣
责任校对:苗 丹
责任印制:陆 宁 高春晓

出版发行:中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址:<http://www.tdpress.com>
印 刷:中国铁道出版社印刷厂
版 次:2015年12月第1版 2015年12月第1次印刷
开 本:787 mm×1 092 mm 1/16 印张:11 字数:264 千
书 号:ISBN 978-7-113-21117-2
定 价:70.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有印制质量问题,请与本社读者服务部联系调换。电话:(010)51873174(发行部)
打击盗版举报电话:市电(010)51873659,路电(021)73659,传真(010)63549480

前 言

中国铁路自 20 世纪 80 年代开始针对铁路货车轴承进行“滑动”改“滚动”的更新换代,到 20 世纪末全部实现滚动轴承装备铁路货车,这对以重载和高速为目标的中国铁路装备现代化进程起到了至关重要的作用。近些年随着我国铁路货车运营速度的不断提高和车辆载重的不断增大,在货车运用中暴露出的轴承失效问题日益突出。轴承失效直接影响铁路运输秩序,甚至威胁到车辆的运行安全,严重时造成燃轴、切轴之类的灾难性事故,给铁路部门带来巨大的经济损失。

按照“安全第一、预防为主,以质量保安全”的方针,中国铁路的管理和技术人员从 20 世纪 80 年代就开始针对滚动轴承失效及其形成原因进行研究,现已积累了较多的铁路轴承故障案例和数据。深入系统地研究和有规律地总结当前运用条件下铁路货车轴承的伤损失效问题,对探明铁路货车轴承伤损失效的影响因素和产生机理,改善铁路货车轴承的使用状况,提高铁路货车运营的安全性至关重要。

基于 1998 年出版的《铁路货车滚动轴承外观缺陷图谱》一书,本书对其进行充实和完善,从海量的故障数据和翔实的缺陷实例中,收集到铁路货车各类典型故障轴承两千余套,拍摄照片数千帧,经详细分析、归纳并参阅国内外有关资料、标准和文献,筛选、整理为七大类 20 小类,并挑选出数百张典型缺陷照片,对每类缺陷的定义、形态特征、发生部位以及伤损轴承的信息、故障情况、形成机理尽可能地做出了准确、翔实的阐述。本书采用以图谱为主的形式来呈现轴承的缺陷及其形成原因,一方面是为了给从事失效理论、设计制造、金属材料、润滑条件、维修保养各方面的科研、技术和管理人员提供较为系统的实践资料,使他们的理论研究、经营决策更加科学准确、贴合实际,同时也可从事轴承质量检测和维修保养等工作的技术人员和技术工人提供更加直观、规范地判断、理解、把握轴承缺陷形态和性质的依据。

本书所选用的典型缺陷主要来自全国 18 个铁路局的运用和检修现场。轴承外观缺陷形态各异,形成机理也较为复杂,既有材质或加工工艺方面的原因,又有运用条件、润滑状态、检修方式和维修保养等方面的原因。

本书在前期所查阅和收集国内外铁路货车轴承资料的基础上,针对国内铁路货车轴承运用过程中所发现的伤损问题进行了系统梳理和归纳总结,研究探讨了我国铁路货车轴承寿命的影响因素和轴承失效产生的机理。同时,在大量轴承伤损失效案例研究的基础上,按照伤损类型、表现形式等要素对已积累的分析及研究成果进行系统编辑和整理,编辑完成了《铁路货车轴承失效机理及伤损图谱》,本书可供货车轴承设计人员、工艺人员、生产人员、货车系统的检修和运用人员参考使用,也可作为相关专业人员培训参考教材,并为生产企业提高轴承产品质量、开发更为适合铁路货运的新产品提供指导。

本书由中国铁路总公司运输局车辆部吴国栋主审,杜永明、刘吉远、张斌编著。参加编写人员:中国铁道科学研究院金属及化学研究所丛韬、张关震、张弘、付秀琴、张澎湃;青岛四方车辆研究所有限公司刁克军、赵雷;太原铁路局张俊琴;北京铁路局郎顺明;沈阳铁路局叶国栋。

本书在编辑过程中,得到铁路行业许多专家、学者的帮助与指导,在此一并致以谢意。

由于经验和水平有限,书中难免存在疏漏之处,恳求广大读者和业内人士批评指正,并及时将使用中出现问题告知我们。

编 者

2015年9月

目 录

第一篇 铁路货车轴承伤损影响因素及机理

第一章 轴承伤损影响因素分析.....	3
第一节 材质的影响.....	5
第二节 制造工艺的影响	16
第三节 轴承产品设计的影响	25
第二章 轴承伤损类型和机理	28
第一节 伤损类型	28
第二节 伤损原因和机理浅析	30

第二篇 货车轴承典型伤损图谱

第一章 剥离、麻点、碾皮	51
第一节 剥 离	51
第二节 麻 点	93
第三节 碾 皮	96
第二章 裂 损	98
第三章 划伤、擦伤、拉伤、磕碰伤	118
第一节 划 伤.....	118
第二节 擦 伤.....	122
第三节 拉 伤.....	126
第四节 磕 碰 伤.....	127
第四章 腐蚀、电蚀、微动磨蚀.....	131
第一节 腐 蚀.....	131
第二节 电 蚀.....	134
第三节 微动磨蚀.....	137

第五章 磨削烧伤、磨痕、滚道面粗糙·····	140
第一节 磨削烧伤·····	140
第二节 磨 痕·····	144
第三节 滚道面粗糙·····	145
第六章 (热)变色、烧附·····	148
第一节 (热)变色·····	148
第二节 烧 附·····	152
第七章 其他伤损·····	154
第一节 压 痕·····	154
第二节 磨 损·····	155
第三节 接触不良·····	164
第四节 凹 痕·····	165
参考文献·····	167

第一篇 铁路货车轴承伤损 影响因素及机理

世界各国铁路行业对轴承的伤损失效研究工作均十分重视,并不断总结故障轴承失效的原因,以期提出改善轴承运用状况的对策。特别是一些铁路运输较为发达的国家,在轴承的运用和管理方面积累了较丰富的经验。

以美国为例,在美国铁路联盟(AAR)等相关机构统一组织下,利用长期运用经验和积累的数据建立了铁路货车轴承的专用数据库。通过轴承专用数据库,从轴承的制造到失效都有详细记录可查,同时他们还将各种典型故障总结成现场手册,兼具图谱和评判标准的作用,便于指导现场人员和管理部门的工作。但从实际情况看,其也存在着不足,主要是对于轴承失效案例的机理性研究较少,数据库中对于失效的轴承仅进行了粗略分类,如运用故障、制造质量问题、装配问题、润滑问题等几类,未针对具体问题类型再进行更进一步的机理性研究。

欧洲对于铁路轴承的研究重点集中在客车和高速列车方面,关于货车轴承的研究相对较少。但其在轴承设计和选型方面也有丰富经验可供借鉴,特别是SKF和FAG这两大轴承制造单位均依据长期积累的设计和研发成果建立了轴承产品数据库,可根据输入的使用条件自动选择合适的轴承型号。但在故障统计和失效分析方面,欧洲积累的数据相对较少,也没形成系统的研究成果。

我国铁路部门对货车轴承的研究一直都未曾间断过。尤其是近几年,“5T”系统推广应用后,大量故障轴承在运用过程中被及时发现,极大提升了货车运行的可靠性,为铁路运输提供了安全保障。

为了进一步系统地对铁路货车轴承的运用故障、轴承寿命的影响因素和轴承失效机理进行深入研究和归纳总结,本篇深入系统地研究,并有规律地总结了当前运用条件下铁路货车轴承的伤损失效问题,探明铁路货车轴承寿命的影响因素和轴承失效产生的机理,改善铁路货车轴承的使用状况,对于提高铁路货车运营的安全性和运输效率具有重要意义。

第一章 轴承伤损影响因素分析

我国铁路货车轴承全部采用滚动轴承,滚动轴承的主要零件包括外圈、内圈、滚动体(通常称滚子)、保持架、密封和润滑脂等几部分,见图 1-1-1 及图 1-1-2。以上零件相互配合构成了一个统一的整体——轴承,而任何一零件出现了质量问题都会直接影响轴承的运用状态。



(a) 主体图



(b) 分解示意图

图 1-1-1 SKF 197726 型轴承的主体及分解图(双列圆锥滚子轴承)



(a) 主体图



(b) 分解示意图

图 1-1-2 353130B 型轴承的主体及分解图(双列圆锥滚子轴承)

引起轴承伤损失效的因素很多且错综复杂,工况条件(如载荷、速度、摩擦力、润滑等)、材料的组织结构、性能参数、表面状况及环境等都有重要的影响。但如果把这些因素归纳起来可以分为使用因素和制造因素。使用因素是指与轴承的安装(如安装、配合、使用保养、维护修理等)和运用条件(气候环境、运行线路、车轮踏面情况、车辆动力学等)有关的因素;而制造因素是指与轴承的材质质量、制造工艺、产品设计等有关的因素。

轴承的伤损问题是所有轴承制造厂和使用客户普遍关心的问题。我国铁路货车轴承大多在较严峻的条件下使用,为了降低轴承的伤损,运用中避免出现疲劳破损、磨损、腐蚀、烧伤、剥

离等,分析影响轴承伤损的因素就变得尤为重要。

一、使用因素对轴承伤损的影响

轴承选型、安装、配合、润滑、密封、维护等均是使用因素的组成部分。安装:安装条件是使用因素中的首要因素之一,铁路货车轴承往往因安装不合适而导致整套轴承各零件之间的受力状态发生变化,很容易造成轴承零件局部受力产生应力集中而引起疲劳损伤;配合:配合过盈量过大容易造成轴承内圈滚道面张力增加,使轴承抗疲劳能力下降,严重时会出现断裂;润滑:润滑不良会引起轴承零件间不正常的摩擦磨损,磨损产生大量的热量会影响轴承材料的组织性能,如果润滑不当,即便选用再好的材料制造轴承,或是轴承的加工精度再高也达不到提高轴承寿命的效果;密封:密封不良容易使杂质进入轴承内部,在轴承使用中影响轴承零件之间的正常接触,从而形成疲劳源,降低轴承使用寿命。为延长轴承使用寿命,减少或防止上述情况的发生,需要工作人员在轴承装配、使用保养、维护修理等方面严格按照技术要求执行。

运用条件因素可以通过对运转中的轴承所承受的载荷、转速、工作温度、振动、噪声和润滑条件等进行全程监控和检查,发现问题及时调整,使其恢复正常。

二、制造因素对轴承伤损的影响

材料质量、制造工艺、产品设计是轴承制造的三大组成部分。

轴承包括金属件和润滑脂(油)两大部分。金属材料的冶金质量是影响滚动轴承早期失效的主要因素。随着冶金技术的进步,原材料质量得到改善,原材料质量因素在轴承失效分析中所占的比重已经明显下降,但它仍然是轴承失效的主要影响因素之一。此外,轴承中润滑脂的优劣也关乎轴承的使用寿命和运用安全。因此,轴承材料的冶炼方法、冶炼工艺是否得当,润滑脂的性能是否良好仍然是轴承失效分析必须考虑的因素。

轴承的制造一般要经过锻造、车削加工、打印标记、热处理、磨削加工、探伤、表面磷化处理、油封及保持架制造和组装等。各加工工艺的合理性、先进性、稳定性也会影响到轴承的寿命。其中制造过程中,影响成品轴承质量的热处理和磨削加工工序,往往与轴承的失效有着更为直接的关系。

轴承的设计不仅是对自身结构形状的设计,还包括考虑到轴承的实际使用工况对材料、润滑、密封等方面的设计。通过对轴承的系统设计,综合考虑各方面因素,才能获得较理想的轴承寿命值。

本章重点从轴承制造角度,同时结合铁路货车轴承失效的实例,分析制造因素对轴承寿命的影响。

第一节 材质的影响

一、轴承材质的选择

货车轴承通常是由内、外套圈,滚子,保持架,油脂和密封等几部分组成。但在轴承工作时,载荷主要集中作用在轴承套圈和滚子滚动面很窄的线形区域上,因此,轴承套圈和滚子承担了全部工作承载。从理论上讲,在滚动接触应力的循环反复作用下,轴承套圈和滚子工作面

迟早会出现材料接触疲劳。此外,在轴承工作时,轴承套圈和滚子间不仅存在着滚动,而且还有滑动(如滚子端面与套圈挡边间)。因此,轴承套圈和滚子接触区域内既发生滚动摩擦又存在着滑动摩擦。在这种条件下,疲劳剥离、摩擦磨损等是轴承零件主要失效方式。为保证轴承的正常使用,就对轴承钢的材料综合性能提出了很高的要求。

基于对轴承工作条件的分析,轴承钢的性能需要满足下列要求:1. 具有高的接触疲劳强度和抗压强度;2. 经热处理后必须具有高而均匀的硬度(一般轴承硬度要求为 58~65 HRC);3. 高的弹性极限,防止在高载荷作用下轴承发生过量的塑性变形;4. 一定的韧性,防止轴承在承受冲击载荷作用下发生破坏;5. 良好的尺寸稳定性,防止轴承在长期存放或使用中因尺寸变化而降低精度;6. 一定的抗腐蚀性能,在大气和润滑剂中应不易生锈或被腐蚀,保持表面的光泽;7. 良好的工艺性能,如冷、热成形性能、切削性能、磨削性能、热处理工艺性能等,以便适应大批量、高效率、高质量生产需要。

根据以上要求,我国对铁路货车轴承用钢的材质进行了严格的筛选。考虑到货车滚动轴承运用中需承受较大冲击载荷作用,目前我国铁路货车轴承滚动体选用高碳铬轴承钢,轴承套圈采用渗碳轴承钢制造。

高碳铬轴承钢自 1901 年问世以来,在世界各国轴承钢总产量中占 80% 以上。我国铁路货车的高碳铬轴承钢主要是 GCr15 钢。GCr15 钢综合性能良好,淬火和回火后具有高硬度、高耐磨性和高接触疲劳寿命,同时热加工变形性能好,球化退火后具有良好的可切削性能,但不足的是对白点形成敏感,有回火脆性倾向。随着科学技术的进步,冶炼技术及产品质量也在不断的提高,我国从 20 世纪 80 年代开始就逐步采用炉外精练技术,大大降低了高碳铬轴承钢的气体含量。

渗碳轴承钢是优质的低碳或中碳合金钢,可用于制造承受冲击负荷较大的轴承。渗碳轴承钢的使用可以追溯至 1899 年,美国的铁姆肯公司为了制造承受重复冲击或弯曲应力的轴承,研制圆锥滚子轴承时,使用了表面渗碳钢,主要在汽车上使用较多。日本在 1922 年开始使用表面渗碳钢,随着技术的改进和提高及使用范围的扩大,目前使用最多的是铬钢,其次是 Cr-Mo 钢,这类表面渗碳钢有良好的冷加工性与疲劳寿命。我国在 20 世纪 50 年代开始使用渗碳钢,起初用于汽车齿轮上。1978 年我国开始提高铁路货车速度,要求逐步由滚动轴承代替滑动轴承,并开始引进国外渗碳轴承生产线,套圈即采用 G20CrNi2MoA 制造,并于 1982 年正式制定了渗碳轴承钢国家标准。因此,20 世纪 70 年代末 80 年代初,我国采用电渣重熔工艺生产的渗碳钢 G20CrNi2MoA 开始用于铁路货车轴承套圈的制造。

对于高碳铬轴承钢 GCr15 和渗碳轴承钢 G20CrNi2MoA,《铁路货车轴承用电渣重熔高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢技术条件(暂行)》和《铁路货车轴承用真空脱气高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢技术条件(暂行)》中规定的化学成分见表 1-1-1。

表 1-1-1 高碳铬轴承钢、渗碳轴承钢化学成分 单位:wt%

牌号		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Cu	P
G20CrNi2MoA	电渣重熔	0.17~0.23	0.15~0.40	0.40~0.70	0.40~0.60	1.60~2.00	0.20~0.30	≤0.20	≤0.020
	真空脱气	0.19~0.23	0.20~0.35	0.45~0.65	0.40~0.60	1.65~2.00	0.20~0.30	≤0.20	≤0.025
GCr15	电渣重熔	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.35~1.65	≤0.30	≤0.08	≤0.25	≤0.025
	真空脱气	0.95~1.05	0.15~0.35	0.25~0.45	1.35~1.65	≤0.25	≤0.10	≤0.30	≤0.025

续上表

牌号		S	Al	As	Sn	Ti	Sb	Pb	Ca
G20CrNi2MoA	电渣重熔	≤0.020	0.010~0.050	—	—	≤0.005	—	—	≤0.001
	真空脱气	≤0.025	0.010~0.050	≤0.04	≤0.03	≤0.003	≤0.005	≤0.002	≤0.001
GCr15	电渣重熔	≤0.020	—	≤0.04	≤0.03	≤0.003	≤0.005	≤0.002	≤0.001
	真空脱气	≤0.015	≤0.050	≤0.04	≤0.03	≤0.003	≤0.005	≤0.002	≤0.001

轴承中除金属件外,润滑脂的作用同样至关重要。据统计,全世界约有 80% 的滚动轴承和 20% 的滑动轴承是采用润滑脂进行润滑的。润滑脂的优劣直接关系到轴承的使用寿命,若出现润滑脂润滑不良同样会引起轴承的失效。

轴承中润滑脂应具备以下作用:1. 减少轴承滚动面间、滚动体和保持架间、套圈挡边和滚子端面间产生的摩擦;2. 排出轴承部件摩擦时所散发的热,并将热均匀地分布于轴承各部分;3. 防止轴承零部件表面锈蚀;4. 填充密封装置固定零件和旋转零部件之间的间歇,以防止灰尘、水分、气体及其他有害物质侵入到轴承部件内;5. 减少轴承工作的噪声。

我国铁路货车轴承目前广泛采用Ⅳ型润滑脂,该润滑脂从 20 世纪七十年代末期的钙钠基润滑脂发展而来,经历了钙钠基润滑脂、锂基润滑脂、锂钙基润滑脂、极压锂钙基润滑脂的发展过程。Ⅳ型润滑脂的性能得到了极大提高,具体指标见表 1-1-2。该润滑脂质量达到了同类产品的先进水平,换脂周期可达 8 年或 80 万 km,满足了我国铁道车辆滚动轴承提速、重载,安全运行的需要。

表 1-1-2 Ⅳ型润滑脂主要技术指标

项 目	指 标
外观	褐色至棕褐色均匀油膏
工作锥入度(0.1 mm)	265~295
延长工作锥入度(10 万次与工作锥入度之差)(0.1 mm)	±25
滴点(℃)	≥180
腐蚀(T2 铜片,100℃,24 h)	铜片无黑色或绿色
钢网分油(100℃,24 h)(%)	5.0
水分(%)	≤痕迹
蒸发量(99℃,22 h)(%)	≤2.0
水淋流失量(38℃,1 h)(%)	≤4.0
防腐蚀性(52℃,48 h)	≤1 级
相似黏度(-20℃,10 s ⁻¹)(Pa·s)	≤1 800
极压性能(四球机法),P _B 值(N)	≥696
极压性能(梯姆肯法),OK 值(N)	≥178
抗磨性能(四球机法)(392 N,60 min),磨痕直径(mm)	≤0.60
氧化安定性(99℃,500 h,0.758 MPa),压力降(MPa)	≤0.10
滚筒安定性(80℃,50 h),剪切后锥入度与工作锥入度之差(0.1 mm)	≤70

项 目	指 标
杂质含量(个/cm ³)	≤5 000
10 μm 以上,	≤3 000
25 μm 以上,	≤500
75 μm 以上,	≤0
125 μm 以上	

二、材料品质的影响

轴承钢在冶炼过程中形成的内部缺陷如气泡、白点、显微孔隙、缩孔、偏析、疏松等和表面缺陷如表面折叠、结疤、氧化皮等均易造成轴承的早期失效,严重降低轴承的寿命,因此在铁路行业标准中明确规定铁路轴承钢材料中不允许存在上述缺陷。但轴承钢的某些缺陷在冶炼过程中无法避免,如非金属夹杂物、碳化物不均匀性等,应根据其危害程度进行严格控制,尽量减少非金属夹杂物和改善碳化物不均匀性。

轴承中润滑脂的品质同样关系到轴承的使用寿命和使用安全,因此轴承润滑脂应具有良好的理化性能和实际使用性能。

本节就轴承钢材料的冶炼方法、冶金质量等问题对轴承寿命的影响进行分析,同时对轴承润滑脂的主要性能进行了简述。

1. 钢材冶炼方法的影响

我国轴承钢的冶炼方法有多种,有传统的冶炼方法如酸性平炉冶炼、碱性平炉冶炼、碱性电弧炉冶炼等;随着对轴承钢质量要求的不断提高,又发展出炉外精炼、电渣重熔、真空冶炼等方法。钢材的纯净度是材料的一项重要质量指标,而钢材的冶炼方法决定了材料纯净度的高低。

传统的冶炼方法如酸性平炉冶炼不具备去除硫(S)、磷(P)的条件,因此对于原材料的要求极为严格。而在原材料条件极佳的情况下,既不在出钢前往炉中加 Ca-Si 脱氧,也不在出钢时往钢包中加 Ca-Si 脱氧,这样可大大减少 Al₂O₃ 夹杂物的含量,同时完全消除了含 CaO 的点状夹杂物,这是酸性平炉被动法冶炼轴承钢的优点。碱性平炉冶炼是在强烈的氧化性气氛下熔炼,钢的脱氧借助于直接向熔池或钢包中加入块状金属脱氧剂,即所谓沉淀脱氧方法来完成,因此,碱性平炉不具备良好的脱硫(S)及扩散脱氧的条件,钢中硫(S)及夹杂物含量较高,很难达到高质量钢标准的要求。

随着技术发展,对轴承用钢性能的稳定性、均匀性、可靠性及使用寿命的要求更加严格,自 20 世纪 60 年代初开始研究新的冶炼方法,先后推出了真空脱气(RH)、电渣重熔法(ESR)、双真空(VIM+VAR)等新的冶炼方法,与传统的冶炼方法相比,新的冶炼方法大大提高了轴承钢材料的纯净度。下面以真空冶炼和电渣重熔为例。

当前常用的真空冶炼方法主要有:真空脱气(RH)、真空感应熔炼(VIM)、真空自耗电炉重熔(VAR)、真空感应炉+真空自耗电弧炉重熔(VIM+VAR)等。

真空冶炼的特点在于:从原料熔化、精炼和合金化到铸锭,整个冶金过程均在真空条件下进行,避免了金属与大气接触;在真空、高温条件下,碳具有很强的脱氧能力,而且脱氧产生的一氧化碳又不断地被抽出系统之外,有利于脱氧反应的进行,避免了脱氧产物的玷污。有关真

空冶炼合金钢所含元素蒸发情况的研究表明,有害杂质元素铅、锑、铋等能蒸发去除。在真空冶炼过程中,若精炼时间可控,还有利于脱氧产物原材料及合金添加剂中带来杂质的去除。因此,真空冶炼广泛应用于高纯度轴承用钢的熔炼。

目前,我国铁路用轴承钢的冶炼方法主要采用电渣重熔进行,电渣重熔轴承钢的主要特点是它的纯净度高、组织细密、化学成分均匀、偏析少,高碳铬轴承钢经电渣重熔后,低倍组织、夹杂物、碳化物偏析等得到明显改善。20世纪70年代末80年代初,由于我国炉外精炼设备及工艺尚不十分成熟的时候,采用电渣重熔工艺生产铁路货车轴承用渗碳钢 G20CrNi2MoA 是一个良好的开端,这也从一个方面证明电渣重熔工艺生产的渗碳轴承钢质量稳定、性能可靠、疲劳寿命高。但经电渣重熔冶炼的高碳铬轴承钢中残留夹杂物大多是 Al_2O_3 型的脆性夹杂物,阻碍其进一步提高轴承的疲劳寿命。今后在采用电渣重熔冶炼轴承钢时首先应着手改变自耗电极的冶炼工艺,如采用炉外精炼工艺生产自耗电极,同时改变脱氧制度(不采用铝 Al 脱氧),采用低碱度(弱酸性)渣系重熔,将残留于钢中的脆性夹杂物改变成塑性夹杂物。这些都是今后电渣重熔冶炼轴承钢研究和改进的方向。

采用先进的冶炼方法不仅可以改善钢中非金属夹杂的数量,提高钢材的纯净度,还可以降低钢中的氧含量,从而提高轴承钢材的冶金质量,进而提高轴承的疲劳寿命。

2. 钢材冶金质量的影响

轴承钢中的氧含量、非金属夹杂物、碳化物不均匀性是衡量轴承钢冶金质量的三个主要指标,同时也是影响轴承使用寿命的重要因素。下面从轴承钢中的氧含量、非金属夹杂物、碳化物不均匀性这三方面对轴承寿命的影响进行分析。

(1) 轴承钢中氧含量的影响

有研究表明轴承钢氧含量与疲劳寿命之间存在着某种的关系,通过大量的试验研究得出了明确的结论,见图 1-1-3。Lund. T. 等认为:疲劳寿命与氧含量的关系为 L_{10} (相对寿命) = $372[\text{O}]^{-1.6}$,即二次精炼钢氧含量降到 10×10^{-6} (wt%),疲劳寿命是大气下熔炼钢[氧含量为 40×10^{-6} (wt%)]的 10 倍。上杉年一认为:氧含量降到 5×10^{-6} (wt%),其疲劳寿命是非精炼钢的 30 倍,与真空自耗和电渣重熔钢相当。大冶特殊钢股份有限公司近年来对此也做过一系列试验,结果表明,当钢中氧含量降至 20×10^{-6} (wt%)、 15×10^{-6} (wt%) 和 8×10^{-6} (wt%) 时,其疲劳寿命分别是电弧炉大气下熔炼钢[氧含量为 30×10^{-6} (wt%)]的 1.5 倍、2.0 倍和 3.0 倍,接近电渣重熔钢的水平(图 1-1-4)。

综合以上的研究发现,轴承钢中的氧含量与疲劳寿命之间的关系,国内外的试验结果大体一致。但是应当指出的是,氧含量与疲劳寿命的关系是辩证的关系,不是绝对的,因为钢中氧含量的高低,实际上只能代表钢中氧化物夹杂数量的大小,不能代表硫化物和氮化物的高低,更不用说夹杂物的尺寸及分布了。通常,一个轴承件的破坏,往往是由于许多夹杂物中的一个大型夹杂物引起。这些夹杂物有硫化物(A类)、氧化物(B、C、D类)和氮化物。从这个意义上说,夹杂物的尺寸与分布对疲劳寿命影响最大。因此,不同的冶炼方法,氧含量即使相同,其疲劳寿命也完全不一样。图 1-1-5 表示各种不同炼钢方法生产的轴承钢弯曲疲劳极限与氧含量的关系。可以看出,氧含量大约为 20×10^{-6} (wt%) 的钢材(LD+RH)疲劳极限相当好,而采用硅钙处理的钢材(EF+RH)尽管氧含量很低[(5~10) $\times 10^{-6}$ (wt%)],由于形成的危害严重的 CaO 类夹杂,疲劳极限并不高。大冶特钢的试验也证明了这一点,虽然电渣重熔钢的氧含量较高[18.6×10^{-6} (wt%)],夹杂物含量也较高,但它的夹杂尺寸细小,分布均匀,疲劳寿命

比低氧含量 $[8.2 \times 10^{-6} (wt\%)]$ 的炉外精炼钢高,见表 1-1-3。

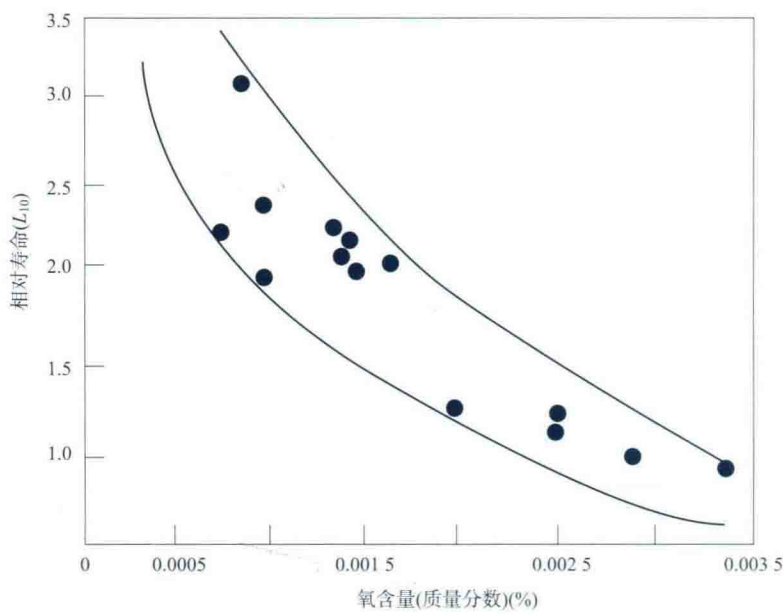


图 1-1-3 氧含量与疲劳寿命的关系

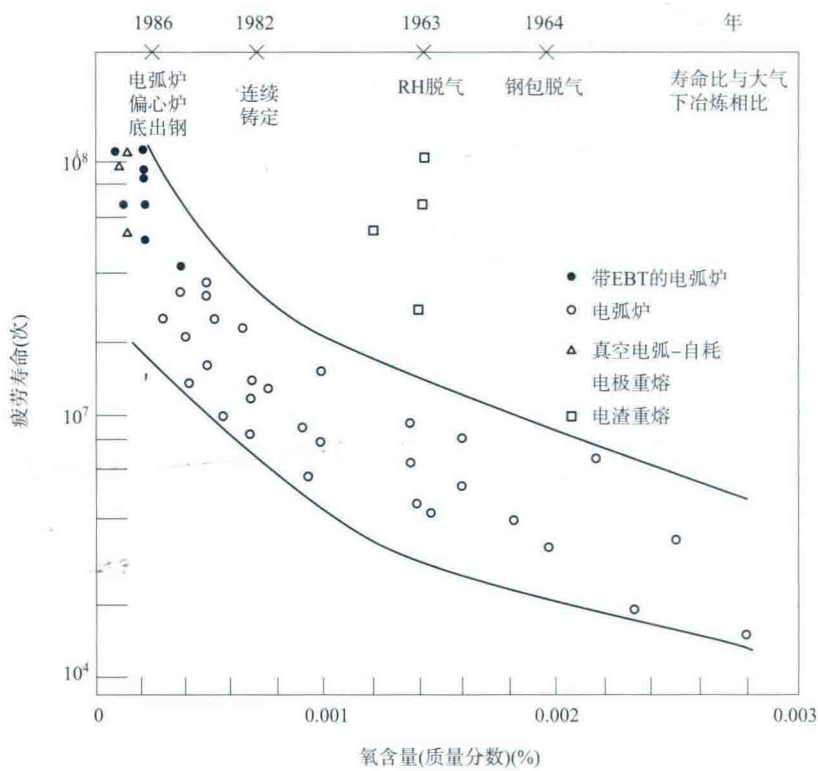


图 1-1-4 氧含量与疲劳寿命的关系