

巴氏合金近工况压痕蠕变性能测试装置设计及应用

钱康乐¹ 薛建平² 陈剑锋³ 傅珠荣² 彭 孜²

(1.浙江越宫钢构有限公司;2.绍兴市天龙锡材有限公司;3.申科滑动轴承股份有限公司)

摘 要 针对滑动轴承的特殊性,设计了接近实况的压痕蠕变性能试验装置,研究了压痕深度尺寸测量方法。对取自滑动轴承本体的不同 Zn、Ag 含量巴氏合金试样,进行了 100 ℃×24 h 的蠕变性能试验,获取了所测试样压痕蠕变特性,可对滑动轴承服役温度、寿命作出预判。

关键词 滑动轴承;巴氏合金;压痕蠕变性能;试验方法和装置设计

中图分类号 TG175.3;TG146.1⁺4;TG115.5⁺7 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.02.014

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Design and Application of Indentation Creep Performance Test Device for Babbitt Alloy under Near Working Condition

Qian Kangle¹, Xue Jianping², Chen Jianfeng³, Fu Zhurong², Peng Zi²

(1.Zhjiang Yuegong Steel Structure Co., Ltd.; 2. Shaoxing Tianlong Tin Materials Co., Ltd.; 3. Shenke Slide Bearing Corporation)

Abstract: According to the particularity of sliding bearing, an indentation creep performance test device close to the actual situation was designed, and the measurement method of indentation depth was investigated. The 100 ℃×24 h creep performance was carried out on the Babbitt alloy specimens taken from sliding bearing body with different Zn and Ag contents, and creep performance characteristics were obtained to predict the service temperature and life of the sliding bearing.

Key Words: Sliding Bearing, Babbitt Alloy, Indentation Creep Performance, Measuring Method and Device Design

滑动轴承广泛用于各类机械旋转等重要部位,常以锡基巴氏合金为减摩层^[1]。随着滑动轴承接近 100 ℃服役条件普遍化,对轴承材料和减摩层性能要求随之提高^[2-3]。研究表明,锡基巴氏合金中添加 Zn、Ag、Ni、Cd 等元素可以提高减摩层耐磨性能和抗蠕变性能^[4-7],同时减摩层制备技术发展迅速^[8-9],如 CMT 冷金属过渡

焊(Cold Metal Transfer)等增材制造技术应用,解决了新引入元素导致离心铸造技术存在结合不良的问题,也发现不同制备技术对减摩层性能有影响^[10-12]。巴氏合金性能检测包括化学成分、结合强度、超声检测、布氏硬度,及抗拉、抗压和屈服强度等。除结合强度试样取自滑动轴承本体外,其他试样并非取自滑动轴承本体,也

收稿日期:2022-02-15;修改稿收到日期:2022-03-16

基金项目:浙江省重点研发计划资助项目(2019C01140)

第一作者简介:钱康乐,男,1988 年出生,工程师,浙江绍兴(312001),E-mail:qkl13645751145@163.com

通信作者:彭孜,男,1985 年出生,高级工程师,浙江绍兴(312001),E-mail:274669861@qq.com

引用格式:钱康乐,薛建平,陈剑锋,等.巴氏合金近工况压痕蠕变性能测试装置设计及应用[J].特种铸造及有色合金,2023,43(2):216-219.

QIAN K L, XUE J P, CHEN J F, et al. Design and application of indentation creep performance test device for babbitt alloy under near working condition[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(2):216-219.

[18] 李成祥,石鑫,周言,等.针对 H 型线圈的电磁脉冲焊接仿真及线圈截面结构影响分析[J].电工技术学报,2021,36(23):4 992-5 001.
[19] 聂鹏,侯中志,王哲峰,等.铝钛金属板电磁脉冲焊接试验研究[J].机械设计与制造,2018(7):90-92.
[20] KWEEI D E, WAELE W, FAES K. Photon doppler velocimetry measurements of the impact velocity during electromagnetic pulse welding of copper-steel tubular joints[J]. International Journal of Materials & Product Technology, 2021, 62(4): 237-262.
[21] ZHU C C, SUN L Q, GAO W L, et al. The effect of temperature on microstructure and mechanical properties of Al/Mg lap joints

manufactured by magnetic pulse welding[J]. Journal of Materials Research and Technology, 2019, 8(3): 3 270-3 280.
[22] CHU Q. Interfacial investigation of explosion-welded titanium/steel bimetallic plates[J]. Journal of Materials Engineering and Performance, 2020, 29(1): 78-86.
[23] 王敬. Fe/Al 异种金属扩散焊界面形成机理研究[D].江苏镇江:江苏科技大学,2012.
[24] 黄伯云.有色金属材料手册(上)[M].北京:化学工业出版社,2009.

(编辑:刘卫)

可以通过模拟计算获得^[13-14],这些测试数据并不能代表滑动轴承实际工况。陈剑锋等^[8]分析我国滑动轴承制造业现状,提出高温蠕变试验应作为重要性能指标之一。高温蠕变检测方法有压痕蠕变^[13-14]和拉伸法^[15]蠕变试验等,但这些试验方法并不完全反映巴氏合金在滑动轴承上的实际使用工况。岳珠峰等^[16]、刘勇俊等^[17]研究发现,平压头结构较适合巴氏合金压痕蠕变试验,但具体的测试方法和试验条件仍不够明确,目前也无相应检测标准和方法供参考。因此,本研究针对滑动轴承加工领域特殊性,设计了100℃下压痕蠕变性能试验装置,研究压痕深度高精度尺寸测量方法,旨在为研发新型巴氏合金及其应用提供参考。

1 试验装置设计、试样制备和使用方法

1.1 试验装置结构设计

压痕试验可连续测定材料的载荷-位移曲线,进而评定其力学性能。通过延长试验时间和改变试验温度,以测定材料在特定温度和时间跨度条件的蠕变性能。目前压痕试验使用的压头有平头、圆头等,试样采用厚度小于直径的圆柱形,压痕凹坑深度精度不到0.2 mm。压痕蠕变试验与单轴拉伸试验方法一样,可获取材料的蠕变性能参数,且压痕蠕变试验的压痕压头采用平头形状较为合理,测试过程形成的压痕应力不变^[15-17]。由于滑动轴承以100℃条件下抗蠕变性能作为技术要求,目前尚无近工况的蠕变试验方法,也无适用压痕蠕变试验的规范和具体方法。本研究根据实际情况设计了压痕蠕变性能试验装置,见图1。载荷件与带压头的压载件用螺丝联接,提供压应力,放置于4根导柱中,导柱与基板固定,载荷件与导柱孔有0.05~0.15 mm间隙。载荷件、导柱、基板均采用304不锈钢制成,基板、载荷件的边长尺寸不宜超过140 mm,导柱高度约为120 mm。根据巴氏合金的硬度,压头尺寸为 $\phi 0.85\text{ mm}\times 4\text{ mm}$ 较合理,载荷件材质采用Cr45,其硬度(HRC)为40。载荷件、压载件和螺丝总质量为6.5 kg,形成压痕应力

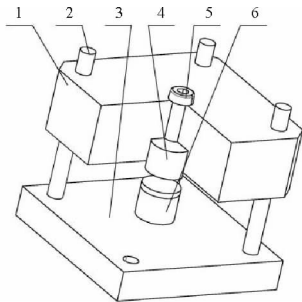


图1 蠕变试验装置
Fig.1 Test device for creep

1.载荷件 2.导柱 3.基板 4.压载件 5.联接螺栓 6.试样

为114.6 MPa,可根据需要加载砝码来调整压痕应力。

1.2 试样制备

为获得接近滑动轴承实况试验数据,采用离心浇注制造滑动轴承,试样取自滑动轴承的本体,其直径不超过25 mm,高度小于30 mm。采用电弧增材技术制造的滑动轴承,试样可取自滑动轴承本体,也可在试样基体上,采用相同工艺单独制备巴氏合金层。试样的巴氏合金压痕蠕变试验面需加工成平面,加工后的试样巴氏合金层厚度大于3.5 mm。一般巴氏合金层与基体结合面为圆弧形,巴氏合金层最厚处的厚度不低于3.5 mm,单个试样可变换不同位置进行多次蠕变测试。

1.3 使用方法

载荷件、导柱、基板、带压头的压载件、联接螺丝和试样准备好后,使压载件压紧试样见图2,试样保持在基板的中心位置。试验装置组合完毕后,为保证载荷件在导柱中自由滑动,可在导柱表面涂抹适量的硅油,放入100℃的DHG-9123A电热恒温鼓风干燥箱,并开始计时,温度控制精度为0.1℃。到达规定测试时间,将试验装置从保温箱中取出,移除载荷件取出试样,待其降至室温即可用于测试数据。

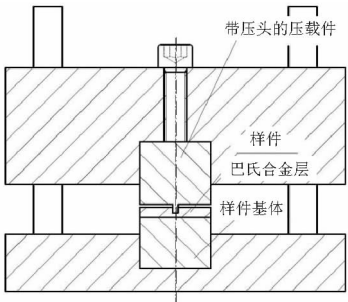


图2 压载试样
Fig.2 Ballast specimen

2 试样压痕形貌和深度尺寸的测量方法

2.1 压痕形貌

图3为试样压痕形貌。在压头的挤压下逐渐形成凹坑形貌。采用VHX2000C超景深数码显微镜,对压

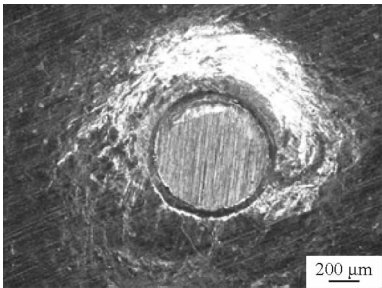


图3 试样压痕形貌
Fig.3 Indentation morphologies

痕的隆起最高点平面至压痕凹坑最深底部进行逐层成像,获得压痕凹坑截面轮廓线,见图 4。

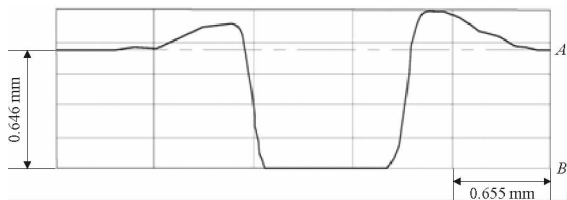


图 4 截面轮廓线
Fig.4 Contourline of section

2.2 压痕凹坑深度测量方法

2.2.1 超景深数码显微镜测量法

将焦距分别对准试样巴氏合金层原始表面和压痕凹坑底部两个平面,至成像最清晰,然后用显微镜自带的景深距离测量功能,获得两个平面的距离尺寸,其精度可以达到 0.001 mm,图 4 中 A、B 两条线之间的距离,即为压痕凹坑的深度。

2.2.2 球珠测量法

取用油墨圆珠笔线迹宽度为细规格的球珠^[18],其直径 D 在 0.65~0.85 mm 之间。图 5 为压痕深度测量方法示意图。用精度为 0.005 mm 的千分尺测量试样原始高度 A_0 ,如果球珠直径大于压痕凹坑深度,则按图 5a,用金相砂纸稍微打磨掉压痕凹坑四周的隆起部分,在压痕凹坑中放入球珠,测量试样总高度 A_1 ,压痕凹坑深度 d 计算方法为: $d = D - (A_1 - A_0)$ 。如果压痕凹坑深度尺寸大于球珠直径,则按图 5b,需在测得 A_0 尺寸后,加工除去部分巴氏合金表层,保留压痕凹坑深度在 0.3~0.5 mm,再将球珠放入压痕凹坑,测量其总高度 A_1 ,此时的压痕凹坑深度尺寸计算方法为: $d = D + (A_0 - A_1)$,球珠法无需专门的检测仪器,适用范围更广。

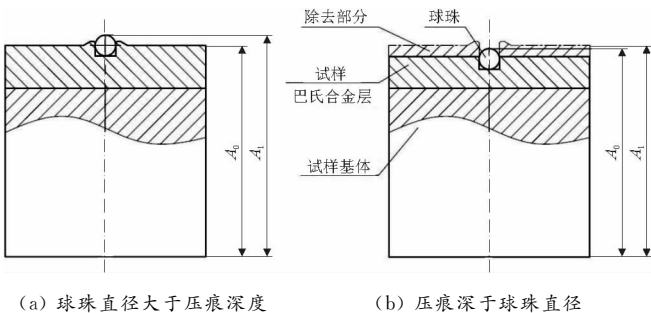


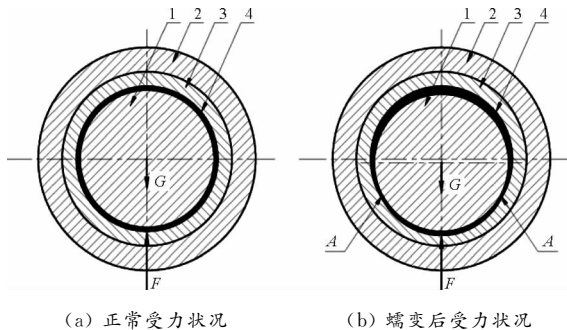
图 5 压痕深度测量方法

Fig.5 Measuring methods of indentation depth

3 实际应用

图 6 为滑动轴承的巴氏合金减磨层受力示意图,图中 G 为负载; F 为减磨层的支撑力。由图 6a 可知,正

常转速状态下,形成的刚性油膜将轴颈与减磨层隔开以减少摩擦。如果减磨层处于较高温度、重载或较大冲击载荷时,易导致减磨层蠕变,见图 6b,此时刚性油膜层容易在位置 A 被破坏导致轴颈与减磨层直接摩擦,缩短滑动轴承的使用寿命,因此减磨层在较高温度下的抗蠕变性能直接影响滑动轴承的尺寸、工况和使用寿命设计。



(a) 正常受力状况 (b) 蠕变后受力状况

图 6 巴氏合金减磨层受力示意图

Fig.6 Force diagram for babbitt alloy antifriction layer

1.轴颈 2.减磨层基体 3.减磨层 4.刚性油膜层

采用自行设计的压痕蠕变性能试验装置,以 SnSb8Cu4 合金为基体,分别或组合添加 Ag、Zn 合金元素,形成 SnSb8Cu4Ag0.1、SnSb8Cu4Zn0.6Ag0.1 和 SnSb8Cu4Zn0.7 巴氏合金。采用离心铸造法制成滑动轴承的减磨层,试样取自该滑动轴承本体,在 100 ℃ 下进行抗蠕变特性试验,蠕变时间为 24 h,其压痕蠕变性能曲线见图 7。从图 7 可知,在 100 ℃ 下,随着时间延长,0~16 h 的 SnSb8Cu4 合金的压痕蠕变率(d/h)增势明显,16 h 后压痕蠕变率增势明显减缓,分析认为是试样的钢质基体承托减缓了其压痕蠕变率,说明其抗蠕变性能较差。分别或组合添加 Ag、Zn 的巴氏合金,压痕蠕变率得到明显改善,在 16 h 后压痕蠕变率趋于平缓,抗蠕变性能明显提高。试验表明,SnSb8Cu4Zn0.7 合金的抗蠕变性能最佳,SnSb8Cu4Zn0.6Ag0.1 合金次之,其次是 SnSb8Cu4Zn0.6Ag0.1 合金。说明 SnSb8Cu4Zn0.7 合金作为滑动轴承减磨层,重载下不易

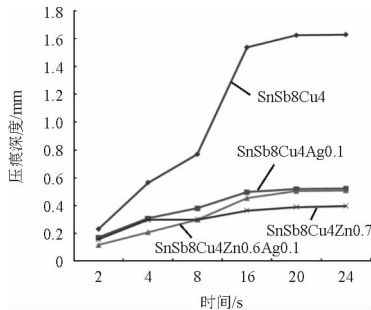


图 7 不同成分巴氏合金蠕变性能曲线

Fig.7 Creep performance curves of babbitt alloy with different compositions

变形,形成的刚性油膜不易破坏,故具有更优良的抗蠕变性能,服役温度更高、使用寿命更长。

4 结 论

(1)设计的压痕蠕变试验装置,适合测试巴氏合金近工况蠕变性能,温度控制精度可达到 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,单个试样可重复使用。采用超景深显微镜和球珠法测量压痕凹坑深度,解决微小压痕凹坑深度尺寸测量精度低问题。

(2)取自滑动轴承本体的试样,或在试样基体上,采用与制备滑动轴承相同的技术制备巴氏合金减磨层,测试结果更接近实际状况,实现原位测试效果。

(3)实践表明,SnSb8Cu4Zn0.7合金抗蠕变性能更优、服役温度更高和使用寿命更长。

参 考 文 献

- [1] 安建勇. 轴承巴氏合金重力铸造工艺研究[J]. 铸造设备与工艺, 2021(3): 23-25, 48.
- [2] GB/T8740-2013 铸造轴承合金锭[S].
- [3] 张春红,张宁,耿德英.Sn-1.0Ag-0.5Cu-0.06Sm 无铅钎料的蠕变性能研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2020, 40(11): 1 302-1 306.
- [4] 赵光良. 一种高软化点温度的轴承合金材料: 中国, ZL201210548702.4[P]. 2014-02-12.
- [5] 白海龙,赵玲彦,彭金志,等. 一种锡基巴氏合金材料: 中国, ZL201610020767.X[P]. 2017-11-28.
- [6] QIN D,ZHONG W Y,LI H L,et al.Effects of Ag micro-addition on structure and mechanical properties of Sn11Sb6Cu babbitt[J]. Ma-

terials Science & Engineering, 2018, A722: 225-230.

- [7] 刘建秀,刘子豪,樊江磊,等.定向凝固速率对 ZChSnSb8-4 合金组织及力学性能的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2022, 42(8): 936-939.
- [8] 陈剑锋,黄炜,李锋,等.电弧增材制造技术在滑动轴承领域的发展及巴氏合金线材现状与趋势[J]. 轴承, 2021(7): 1-7.
- [9] WEI M Z,SUN K,ZHANG X L,et al. Microstructure and bonding strength of tin-based babbitt alloy on ASTM 1045 steel by MIG arc brazing[J]. Journal of Adhesion Science and Technology, 2018, 32(19): 2 150-2 161.
- [10] 张胜全,张博,王一纯,等. 钎焊温度对锡基巴氏合金/钢基体过渡层组织的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(7): 694-697.
- [11] 宋振亚,彭孜,闫鸣,等. 制备方法对锡基巴氏合金轴瓦组织及性能的影响[J]. 稀有金属, 2021, 45(3): 378-384.
- [12] SONG Z Y,ZHANG L C,LIU Y,et al.Improved microstructure and bonding strength via MIG arc brazing in Sn-based Babbitt layer for bearing fabrication[J]. Mater. Res. Express, 2019(6): 116 558.
- [13] 姚建斌. 油膜轴承巴氏合金蠕变 ANSYS 分析[J]. 山西冶金, 2015, 38(6): 31-33.
- [14] 刘硕. 压痕蠕变实验的力学模型与蠕变力学性能表征[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2009.
- [15] GB/T 2039-2012 金属材料单轴拉伸蠕变试验方法[S].
- [16] 岳珠峰,万建松,吕震宙,等. 由压痕蠕变试验确定材料的蠕变性能参数[J]. 应用数学和力学, 2003, 24(3): 275-281.
- [17] 刘勇俊,赵彬,许宝星,等. 平头压痕试验结合有限元法确定材料蠕变参数[J]. 稀有金属材料与工程, 2007, 36(12): 2 115-2 118.
- [18] GB/T 26714-2019 油墨圆珠笔和笔芯[S].

(编辑:刘晨辉)

《特种铸造及有色合金》征订启事

《特种铸造及有色合金》杂志是中国科学技术协会主管、中国机械工程学会铸造分会和武汉机械工艺研究所共同主办的全国性科技期刊,是对国内外公开发行的中文核心期刊,中国科技论文统计与分析用刊,SA、CA、MA、AJ、Scopus 等国内外权威数据库及检索系统收录期刊,并获得全国优秀科技期刊一等奖、国家期刊奖、新中国 60 年有影响力的期刊、湖北十大有影响力的自然学术期刊等。

本刊主要报道各种(黑色和有色合金)特种铸造方法、各种有色合金及复合材料成形的理论、工艺、设备、材料、测试与控制、计算机应用等方面的科技成果、生产技术和现场经验,并报道各相关学科和交叉学科,如挤压铸造(液态模锻)、半固态加工、电子封装、高熵合金、非晶合金(金属玻璃)、焊合、粉末冶金、合金化、热处理、表面处理等方面的学术研究和最新技术信息以及上述内容的国内外发展动向、行业活动、学术会议、消息动态等。

本刊诚征国内外广告,业务范围:铸造及有色合金材料、辅助材料、铸造及相关设备、铸造生产线、测控与控制设备、仪器仪表、计算机应用软件、铸造展会等。

本刊为月刊,标准(大)16开,邮发代号 38-109。邮发订价每期 20 元,全年 240 元,如须快递,费用另计。全国各地邮局均可订阅,也可直接向本刊编辑部邮购,本刊还提供过刊、压铸宝典和年会专刊邮购服务。

特种铸造及有色合金杂志社(武汉)有限公司



地址:武汉市江岸区九万方路 26 号

邮编:430019

电话:027-85358206,85486024

传真:027-85358127

投稿网址:www.special-cast.com

邮箱:tzzz@special-cast.com

