

◀国外轴承科技▶

利用声发射技术监测低温环境下轴承钢的损伤

肖 晖摘译 刘耀中校

(洛阳轴承研究所 行业工作中心 河南 洛阳 471039)

摘要:在轴承的重载接触区域经常出现疲劳损伤,深入了解疲劳损伤的起因和发展对于预测轴承零件的寿命具有重大意义。选择用声发射法监测低温下接触疲劳试验中的裂纹起源和扩展过程,通过分析试验中的声发射信号即可确定显微疲劳的起源和扩展过程。

关键词 轴承钢;接触疲劳;声发射检验;低温

中图分类号:TG115.57 文献标识码:B 文章编号:1000-376X(2003)01-0042-03

1 简介

在开发恶劣环境(本文指低温)中使用的高性能钢制轴承时,由接触疲劳产生的损伤是一个重点研究课题。

涡轮泵轴承中的损伤以各种形式发生。套圈压痕、滚子变形、腐蚀、磨损、粘着、点蚀裂纹、剥落。如此多样的形式使对损伤的研究更为复杂,下面将着重研究由疲劳产生的裂纹。

疲劳诱发裂纹的过程通常分为三个阶段,首先是裂纹起源,在材料内部出现新表面(显微裂纹),然后裂纹扩展,最后断裂。

裂纹起源,即在材料内部突然产生一个不可逆的新表面,会以波的形式释放能量。这种现象通常称作“声发射”。

为了监测液氮环境下(77 K)接触疲劳试验中裂纹起源和扩展的过程,选择了声发射法。这种方法以前也曾用于判断疲劳引起的轴承损伤。

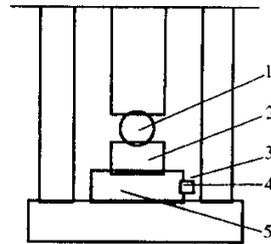
本文的试验装置包括疲劳试验机、检测系统和两种试验用轴承钢。一种是用于低温涡轮泵轴承的X105CrMo17,另一种是新开发的高氮钢XD15NW。

2 试验室装置

2.1 机械试验

利用一套球-盘试验装置(图1)进行接触疲劳试验,以了解在高压应力下不同钢材的性能。

此试验有两个优点:一是装置相对简单,二是与传统的疲劳试验(如在复曲面试样上的拉/推试验)相比,能较真实地反映轴承的性能。



1-球 2-试样 3-传感器 4-数据接收处理仪 5-试样脉冲传导装置

图1 试验装置

试验采用一台专为低温应用而改进过的液压致动器 MTS 250 kN。试样是直径 25 mm,厚 10 mm 的圆盘,在球-盘装置上承受恒定频率为 50 Hz、

在 F_{\min} 和 F_{\max} 之间呈正弦振动的法向压力。

试验在液氮环境(77 K)中进行,最大赫兹压力在 4 000 ~ 13 000 MPa 间变化($DP = 1\ 000$ MPa 恒定),试验循环数固定在 10 000 次。

为了产生球面压痕进行了各种单调试验以细化研究。

2.2 声发射设备

在试样支承块上装有一高频压电传感器(500 Hz),它将所接收的机械振动转化为电信号,然后由一台前置放大器放大,随后,一台微处理器将信号数字化并分离出不同类型的声发射输入。不同类型的数据输入计算机进行存储、处理并显示实时数据。

2.3 试验材料

目前用于制造涡轮泵低温轴承的是 X105CrMo17 钢,它是一种电炉冶炼真空重熔的马氏体不锈钢。其试样要经过传统的退火(淬火和回火)。试样表面腐蚀后呈现出下列显微结构:细小的板条状马氏体基体;晶内或晶间析出微粒(M_3C_6 类型)以及在晶界或偏析带上发现的形状各异、长度从 $10\ \mu\text{m}$ 到 $40\ \mu\text{m}$ 不等的共晶析出物(M_7C_3 类型)。

合金 XD15NW 是一种高氮马氏体不锈钢,与 X65Cr13 钢的冶炼方法相似。采用电炉冶炼电渣重熔。通过吹氮或渗氮铁屑给铸坯中加氮。试样进行了同样的热处理,得到以薄条状马氏体为基体,在晶内和晶间析出球状微粒的细小均匀的显微组织。

3 试验结果

3.1 声发射分析

在这些试验中需要的声发射形式为具有阻尼正弦波形的离散随机信号。这些信号的显著特征包括其峰值水平、发射次数、时间和 AE 能量。可以将这些随机信号称作“波群”。

对记录信号的分析包括对两个参数的评估:峰值和发射次数。不管是那种试验材料都可以观察到与所加载荷有关的两类突出特征。

第一类特征是声活动很弱,波群峰值低,次数少,这是由于大量噪声信号存在。根据随后的观察可知,这种声活动不是裂纹造成的。X105CrMo17 在接触区最大赫兹压力不超过 7 000 MPa 时进行的试验,和 XD15NW 不超过 8 000 MPa 时进行的试验证实了这类特征。

在其他试验中发现的声活动的第二类特征可

以分为两个阶段。

第一阶段表现为在最初的 n 次循环内与载荷有关的强烈的声活动。这种现象产生的波群,其峰值大于相应试验合金的阈值:XD15NW 为 55 dB, X105CrMo17 为 65 dB,至少 1 000 次。第二阶段,在平静的期间内散布着一些低活动区。

第一阶段中包含了大量随机信号,其出现频率随峰值水平变化而变化,这些信号后来形成了真正的声信号。第一类特征仅是大量噪声的体现。而第二类特征则表现了裂纹损伤:第一阶段从总体上看反映了显微裂纹的开始,第二阶段是相应的裂纹扩展。

为了研究球面压痕(代表疲劳试验中所加载荷)进行了各种单调试验,并同时记录声活动。通过对信号的分析发现有些随机信号的峰值大于试验合金的阈值至少 1 000 次,但对于 X105CrMo17 这样的信号极少出现。这一事实预示在裂纹起始阶段最初 100 次循环的重要性。

3.2 试验后的显微检查

所有试样都带有球冠形(图 2)残余表面变形,但只有当最大赫兹压力大于或等于 7 000 MPa (X105CrMo17)或 10 000 MPa (XD15NW)时才在残余变形的边缘处产生显微裂纹。

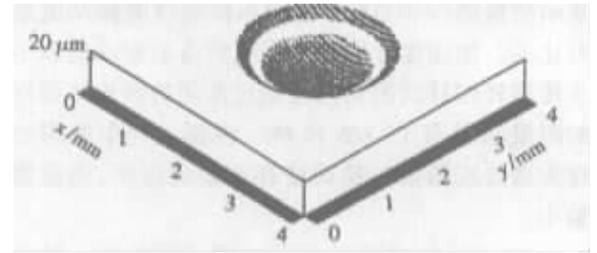


图 2 残余表面变形

对于 X105CrMo17,裂纹产生在位于压痕边缘共晶析出物 M_7C_3 内,通过析出物内部尖锐的断裂产生。这一现象说明,在基体和共晶析出物间存在高质量的相间结构,裂纹产生阶段过后,显微裂纹在基体内延长直到与其他裂纹汇合形成更长的裂纹。裂纹扩展是晶间扩展。

对于 XD15NW 虽然更难观察到裂纹起源,但容易在压痕边缘通过晶间析出微粒与基体的脱离形成裂纹源点。裂纹扩展很象是晶间扩展。

要在压痕边缘产生裂纹,试样要承受的接触区赫兹压力对于 X105CrMo17 要大于或等于 7 000 MPa,对于 XD15NW 要大于或等于 10 000 MPa(对 X105CrMo17 的加载是要使共晶析出物解理,对 XD15NW 的加载是使晶间析出微粒与基体脱离)。

4 讨论

仔细比较了显微观察结果并分析了声发射信号,发现所有的 X105CrMo17 试样和绝大多数 XD15NW 试样,在试验开始时强烈的声活动都是由显微裂纹损伤造成的。对于 XD15NW,只有当接触区最大赫兹应力超过 10 000 MPa 时才能通过扫描电镜观察到显微裂纹,而声发射信号在试验开始时应力达到 8 000 MPa 后就出现了强烈活动。这个差异是由合金的磁力造成的,磁力限制了扫描电镜的分辨率。

试验开始时这种强烈的声活动使我们相信,在这些载荷下,在最初的 100 次循环内便有裂纹产生。球面压痕的单调试验进一步证实了这一判断。

由此得出裂纹产生与 1 000 次峰值波群(高能波群)的出现有关,还产生了一个与试验金属无关

(上接第 28 页)

4 结论

(1)方案 1 和方案 2 探针式测量得到的轴承振动均方根值非常接近,说明微机测量分析系统显示的振动值和 S0910 型轴承振动仪的振动值是可比的。加速度计固定式安装测得的振动值和平头传振杆探针式的测值分别比常用的球头传振杆的测量结果高 13.6% 和 6%,说明工程中使用的球头探针式测量的精确度存在系统误差,测量值偏小。

(2)不同加速度计安装方式下测量同一轴承得到的频谱图差异较大,固定式测量得到的频谱图 4c 比较真实地反映了轴承的振动特性,探针式测量得到的图 4a 和图 4b 的频率结构和幅值特性与图 4c 的差异说明探针式测量使振动信号失真。

(3)由图 4 可以看出,在规定的 50 ~ 10 000 Hz 轴承振动检测频率范围内,不同测量方法得到的轴承振动的强度是不相同的。探针式测量,特别是球头传振杆测量,除安装谐振频率附近外的所有频率处的幅值均受到抑制,其抑制的程度与表 1 中轴承振动均方根值的大小是一致的。

(4)轴承振动检测频率范围内^[2,3],图 4a 中幅值主峰出现在 2 200 Hz 附近,图 4b 中主峰出现在 3 300 Hz 附近,4 300 Hz 处出现次峰,图 4c 中幅值主峰出现在 3 300 Hz,6 100 Hz 处出现次峰,而在 2 200 Hz 和 4 300 Hz 附近没有出现振动峰值。说

的阈值。这个阈值与裂纹产生的方式紧密相关,进而与显微裂纹产生过程中释放的能量有关。

5 结论

通过本文研究可以建立一个判断实时显微裂纹产生的判据,其包括两个参数:波群的峰值和次数。研究表明,在显微裂纹最初的开始阶段波群次数达到 1 000 次,峰值大于或等于给定阈值。实际的阈值与材料有关:X105CrMo17 为 65dB, XD15NW 为 55 dB。

还应该注意,对于长达几十个微米析出物解理的情况和晶间析出微粒脱离的情况,第一种情况与损伤有关的声发射能更大,这也是其更容易检测出的原因。

摘译自《Tribology International》

(编辑 杜迎辉)

明图 4a 中的主峰频率 2 200 Hz 和图 4b 中的次峰频率 4 300 Hz 不是轴承振动固有特征,对比本文对探针式安装传感器与被测轴承接触谐振频率的计算结果和文献 1 的分析可知,它们反映的是传感器与被测轴承的接触特性。

(5)本文研究的传感器安装方式对轴承振动测量特性的影响揭示了探针式测量造成信号失真,固定式测量能较可靠地获取轴承振动的真实信号,为分析和研究轴承振动机理,揭示它的物理本质提供了可靠的依据。

参考文献:

[1] 蒋兴奇,马家驹.轴承传感器频响特性研究[J].机械工程学报,1990,26(3):43-49.

[2] JB/T5314-2001,中华人民共和国机械行业标准——滚动轴承振动(加速度)测量方法[S].

[3] ANSI/AFBMA Std. 13-1987, Rolling Bearing Vibration and Noise (Methods of Measuring) [S].

[4] Bruel and Kjaer. Theory and Application Handbook, Piezoelectric Accelerometers and Vibration Preamplifiers [M]. March 1978, 50-54.

[5] Victor Wovk. Machinery Vibration: Measurement and Analysis [M]. McGraw-Hill, 1991, 59-122.

[6] 卢文祥,杜润生.工程测试与信息处理 [M]. 武汉:华中理工大学出版社,1994, 188-219.

[7] Johnson K L. Contact Mechanics [M]. Cambridge University Press, 1985, 84-104, 340-369.

[8] 梁文梅,马家驹.滚动轴承振动信号的微机采集与分析系统[J].振动、测试与诊断,1993,13(1):55-60.

(编辑 杜迎辉)