

汽轮发电机合金轴瓦的超声波检测

王维东¹, 蔡 晖², 魏忠瑞³, 曹云峰¹, 花喜阳¹, 张振华¹

(1. 徐州电力试验中心, 徐州 221009; 2. 西安热工研究院有限公司, 西安 710032;
3. 济宁瑞祥模具有限责任公司, 济宁 272100)

摘 要:在研制了结合良好与结合不良并存的合金轴瓦参考试块和系列延迟与聚焦探头的基础上, 调整合金与衬背结合面的检测灵敏度, 完成了合金轴瓦与衬背结合质量的超声波检测工艺。应用结果表明, 采用该项技术可以检测最小厚度为 1 mm 的合金结合面, 并能迅速对结合不良部位进行识别和定位。

关键词:汽轮发电机轴瓦; 超声波检测; 结合程度

中图分类号: TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2011)04-0046-03

Ultrasonic Testing of Alloy Bearing Bush for Turbo-Dynamo

WANG Wei-Dong¹, CAI Hui², Wei Zhong-Rui³, CAO Yun-Feng¹, HUA Xi-Yang¹, ZHANG Zhen-Hua¹

(1. Experimental Center of Xuzhou Electric Power, Xuzhou 221009, China; 2. Xi'an Thermal Power Research Institute, Xi'an 710032, China; 3. Jining Ruixiang Mould Tool Plant, Jining 272100, China)

Abstract: Based on the developing of reference test blocks with good and bad bonds, and on the series of delay probe and focusing probe, the ultrasonic testing techniques for the combination quality about the Babbitt metal with backing were realized via adjusting the detection sensitivity in the bonding interface of alloy with backing. The results showed that this technique could detect the alloy joint surface with minimum thickness of 1 mm, and it could quickly identify and locate the part of bad bondage.

Keywords: Alloy bearing bush; Ultrasonic testing; Turbo-dynamo bond

1 汽轮发电机合金轴瓦的缺陷分析

高速重载的汽轮发电机合金轴瓦采用双金属形式, 离心浇铸, 将巴氏合金粘在轴瓦内表面。巴氏合金轴瓦的厚度一般为 1~15 mm, 属于软金属组织。合金材料一般为锡锑合金 (ZChSnSb11-6), 依靠合金基体内的硬粒形成骨架, 嵌入性好。硬粒在存在润滑的情况下, 摩擦系数极小, 不易划伤轴颈。通常情况下, 轴承合金衬层愈薄, 其抗疲劳强度愈高。合金轴瓦分为上轴瓦和下轴瓦, 下轴瓦是承重部分。正常运行条件下, 在启动或瞬间过载条件下, 轴系能经受润滑不足的情况。当轴转动时, 轴瓦与

轴颈之间有足够厚度并且形成压力的油膜, 使相对运行的金属表面被压力油膜完全隔开。由于制造中引起的结合面缺陷, 如轴瓦背衬材料机加工切削速度和切削量失控存在内应力; 浇铸前未去除局部应力以及衬背材料存在的毛刺、尖角、裂纹、缩松和夹渣等缺陷, 表面粗糙度不符合要求; 表面油污或其它污物以及浇铸温度过低等, 均易形成粘合不良。导致运行中周期或交变载荷及热膨胀应力作用下会产生疲劳, 使缺陷或局部结合不良部位的巴氏合金开始面积增大, 逐渐从衬背上脱落而造成烧瓦。近年来, 因轴瓦合金脱落而造成的烧瓦事故时有发生。随着高参数大容量汽轮发电机组的出现, 对轴瓦的安全稳定运行提出了更高的要求。

2 合金轴瓦的超声波检测创新点

(1) 传统检测采用普通直探头和双晶直探头,

收稿日期: 2010-09-26

作者简介: 王维东(1948—), 男, 无损检测技师, 曾任徐州电力试验中心金属室主任, 总工程师, 研究方向为发电厂特殊金属部件的无损检测工艺方法, 曾获 1979 年全国技术能手。

利用合金界面反射波与钢背衬底面反射波声压差判断结合质量,但未能解决合金层厚度 ≤ 1 mm的检测禁区。其原因在于合金层比较薄,超声波始波占宽较大,很难识别此处的近距离缺陷。其次,1~5 mm合金层界面均在盲区内,普通直探头的探伤盲区较大,发现近表面缺陷能力差,且较薄的合金层均存在近场区内,近场区内存在声压极大值和极小值,易引起误判。双晶探头在该区域不能聚交。所以用普通直探头或双晶探头无法完成1~5 mm合金层界面的超声波检测。新工艺采用增加延迟技术的直探头(图1),使较薄合金厚度层产生出易分辨的多次反射波,解决了这一难题。

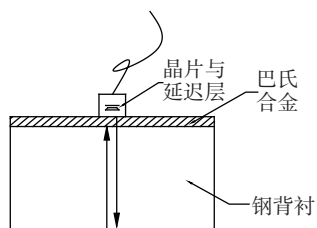


图1 延迟式直探头测试示意图

(2) 传统方法检测 >5 mm合金层界面时,采用双晶聚交直探头或直探头,以衬背底部反射波为参考波。其不足之处在于:衬背面往往光洁度较低、外形几何尺寸不规则以及内部晶粒度和缺陷等干扰,实际反射声压误差较大,无法确定底波准确参考量,易误判。 >5 mm合金层界面检测新工艺采用不同深度双晶聚交直探头(图2),设计了不同晶片尺寸和聚交深度的探头,将探头聚交点Q限制在界面,使探头灵敏区位于界面,提高了检测灵敏度,同时排除了衬背底波的干扰。

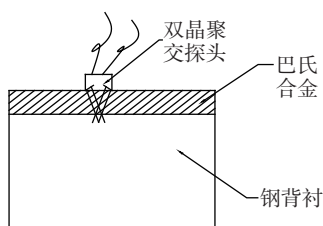


图2 双晶聚交直探头在界面上的聚交范围

(3) 根据被检轴瓦合金层的厚度,选择探头的频率、晶片尺寸及对应的聚交深度,推荐使用的探头见表1。

(4) 校准试块选用与被检轴瓦材料相同的材料ZChSnSb11-6巴氏合金浇铸。设计 $\phi 1$ mm \times 40 mm横通孔8个;1 mm \times 1 mm方通孔1个,用于校核单晶直探头反射当量与多次反射波形分析,双

表1 推荐使用的探头

合金厚度/mm	探头型式	频率/MHz	晶片尺寸/mm
1~5	单晶	5~10	$\phi 4\sim 8$
>5	双晶	5	4 \times 4(双晶) \sim 10 \times 10(双晶)

晶直探头的聚焦深度确定以及扫描速度调整。由于深度 $\phi 1$ mm横通孔试块表面仅余0.5 mm有效厚度,考虑试块局部易变形,因此设计为1 mm方形孔。校准试块形状和尺寸见图3所示。

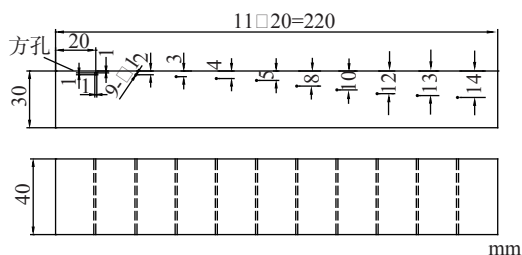


图3 ZW-HJ 校准试块示意图

(5) 参考试块遵照合金轴瓦的制造工艺,离心浇铸出结合良好区,为轴瓦径向宽度的50%;改变工艺后,将余下的50%宽度浇铸成为结合不良区。

根据被检轴瓦常见的合金层厚度的范围,将试块设计为阶梯型结构。每个厚度界面对称布置面积各为45 mm \times 40 mm结合良好与结合不良两部分(图4)。I侧为结合良好区域,II侧为结合不良区域,用于确定检测灵敏度和结合程度的波形对比。

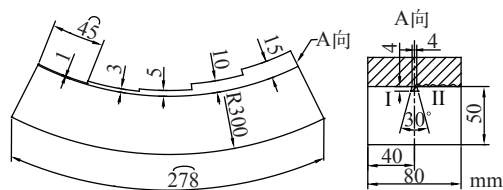


图4 ZW-系列参考试块示意图

3 检测工艺

3.1 检测条件

检测在合金表面进行。探头应与检测面吻合良好,耦合剂采用50号机油或无腐蚀、透声性能好的化学浆糊,扫查速度应不超过100 mm/s。

3.2 扫描时基线比例的调整

合金层厚度1~5 mm时,将衬背底面第一次反射波调整为基线满刻度的20%~30%。

合金层厚度 >5 mm时,将合金与衬背材料结合良好部位的第一次界面反射波调整为基线满刻度的20%~30%。

3.3 检测灵敏度

合金层厚度 1~5 mm 时,探头置于参考试块合金与衬背材料结合良好部位,将底波调整至满屏 80%,增益 10~12 dB。

合金层厚度 >5 mm 时,探头置于参考试块合金与衬背材料结合良好部位,将界面波调整至满屏 80%,增益 4~6 dB。

4 波形分析

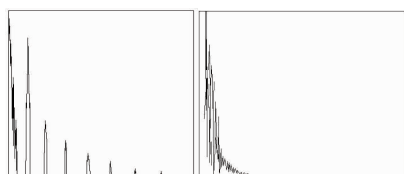
(1) 图 5(a)为 1 mm 结合良好处的波形,合金层厚度为 1~3 mm 时,始脉冲与第一次界面 1.25 次反射波粘连,无法分辨;3~4 次波呈指数衰减,与底波形成结合良好波型。

(2) 图 5(b)为合金层厚度 1 mm 处界面结合不良的多次反射波。可见,由于合金层厚度偏薄,形成多次界面反射波叠加。

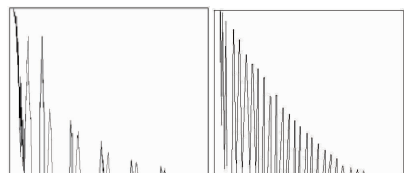
(3) 图 5(c)为合金层厚度为 4~5 mm 时的结合良好波形,此时始脉冲与第一次界面波相对独立,分辨率 >6dB,3~4 次底波后均有界面波存在,但能量较低。

(4) 图 5(d)为合金层厚度 5 mm 时的结合不良波形。可见,界面多次反射波独立存在。

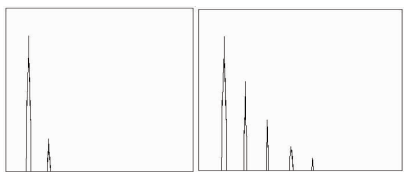
(5) 图 5(e)为合金层厚度 10 mm 时结合良好的 1.25 次界面波。



(a) 1 mm 结合良好 (b) 1 mm 结合不良



(c) 4~5 mm 结合良好 (d) 5 mm 结合不良



(e) 10 mm 结合良好 (f) 10 mm 结合不良

图 5 不同合金层厚度时不同结合质量的波形特征

(6) 图 5(f)为合金层厚度 10 mm 时的结合不良波形,可见多次界面波呈指数衰减形式排列。

5 研究分析

巴氏合金离心浇铸在钢背衬上,形成了两种材料的机械结合,结合面相当于异质界面。由于声特性差异较大,在钢背衬与巴氏合金层间形成了不同材料的声阻抗。根据超声波在异质界面的反射与透射原理:

$$m = \frac{z_1}{z_2}$$

$$r = \frac{1-m}{1+m} = \frac{z_2-z_1}{z_2+z_1}$$

式中 z ——材料的声阻抗;

m ——两声阻抗之比;

r ——反射率。

由上式得知,即使离心浇铸界面结合良好,仍然存在界面回波。试验表明,结合良好时,将第一次界面反射波调整为 80%波高时,第二次反射波高约为第一次回波的 1/4。

6 结合不良面积的测定

(1) 检测结果的评定应只计算不小于晶片面积一半的结合处缺陷,用半波高度法(6 dB)确定缺陷的边界;相邻缺陷之间的距离不大于 10 mm 时视为连续缺陷。

(2) 经过试验,根据 ISO 4386-1 1992 标准^[1],缺陷的评级见表 2。

表 2 缺陷评级¹⁾

缺陷组别	结合面	
	最大单个缺陷面积/mm ²	全部缺陷占总面积比例/%
I	0	0
II	$L_1 b^{2)}$	1
III	$L_2 b$	1
IV	$L_2 b$	2
V	$L_3 b$	5

注:1) 若单个缺陷所占的百分比超过表中规定全部缺陷所允许的百分比时,采用后者评级;2) b 指径向轴瓦或推力瓦的宽度,单位 mm; $L_1=0.75$ mm; $L_2=2$ mm; $L_3=4$ mm。

(3) 缺陷评定 对于径向轴瓦,当载荷为垂直向下时,承载区域为 60°~120°范围内的滑动表面。承载区域应为 I 级合格,其它区域应为 III 级合格。

(下转第 78 页)

为缺陷且符合补焊要求的严格按补焊规程补焊,补焊后按原超声标准进行复探。

(2) 综合运用各种无损检测方法并和破坏性方法相结合。对焊管的超声波检验,超出验收极限的任何缺欠应归为缺陷。

(3) 判断为可能由于焊趾或变形波而引起的反射信号,需准确调整好超声仪器,进行精确定位。或用砂轮机对反射信号区域进行仔细打磨,打磨后再进行超声波复验,可发现反射信号消失,则可判断为焊趾反射或变形波。

(4) 判断为表面或近表面缺陷,需先标识,然后用砂轮机进行仔细修磨,修磨后再进行超声波复验,并进行磁粉检验和测厚,确保缺陷彻底消除。

(5) 缺陷位于管端或靠近管端,不符合补焊要求或切除含有缺陷管段后仍满足交货长度要求的钢管,可进行切除处理。

(6) 钢管的曲率半径对缺陷定位判别有一定影响,当对钢管纵向焊缝进行检测时,应进行曲率修

正,以提高缺陷定位判别的准确性。探伤前应充分了解工件焊接工艺和焊接方式,根据具体的焊缝工件结构表面状况,焊接现场等情况对检测结果进行认真分析,确定是缺陷还是伪缺陷,减少误判。

参考文献:

- [1] 张文钺. 金属熔焊原理及工艺[M]. 北京:机械工业出版社,1981.
- [2] API SPEC 5L: 2007 管线钢管规范第 44 版[S].
- [3] ASTM E273 焊接钢管焊接区超声波检验标准作法[S].
- [4] ASTM E114 接触式超声波纵波脉冲回波检验标准作法[S].
- [5] 胡天明. 超声探伤[M]. 武汉:武汉测绘科技大学出版社,1994.
- [6] 超声探伤编写组. 超声波探伤[M]. 北京:劳动人事出版社,1989.
- [7] 尚庆祥,唐宏伟. 高层钢结构现场安装焊缝的超声波探伤[J]. 施工技术,1999,6(6):23-24.



(上接第 48 页)

7 结论

以上方法在探头和试块研制的基础上,解决了 1 mm 厚度合金层界面无法有效检测的难点;对厚度 > 5 mm 的合金层则将探头聚束范围控制在界面,排除了衬背材料对检测的干扰。该方法除适用于发电行业设备安装和检修时合金轴瓦的检测外,

也适用于其他行业轴瓦的超声波检测。目前,该超声波检测工艺方法已完成中华人民共和国电力行业标准《汽轮发电机合金轴瓦超声波检测》报批稿。

参考文献:

- [1] ISO 4386-1 1992 滑动轴承 多层金属滑动轴承 第 1 部分:结合强度超声波无损检验[S].



(上接第 71 页)

节都要精心组织,精心施工,严格达到规范设计要求,施工过程中的每一细节都显得重要,必须严格把关,并选用有经验的、责任心强的人员进行施工。声波透射法检测大直径桩、深嵌岩桩、长桩(冲、旋挖)钻孔灌注桩,检测结果准确可靠,数据稳定,无检测“盲区”,操作方便。但必须严格按照规范要求预埋质量合格的声测管。对于缺陷桩,应认真分析缺陷性质、缺陷程度及造成的原因,同时采取不同的处理方法;对存在较严重缺陷的桩,要判断能否进行补强处理,在保证质量的前提下,做到既不盲目放弃,同时

也不能毫无根据的滥用。参建各方除了必须掌握基本的理论知识,还应不断积累经验,提高施工管理和检测水平,并以高度的责任心,做好施工管理和检测验收各个环节的工作,确保工程质量达到规范要求。

参考文献:

- [1] 罗骥先. 桩基工程检测手册[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 杨春林,魏曙安. 桩基超声波无损检测质量判断浅析[J]. 湖南交通科技,1999,25(3):57.
- [3] JGJ 106-2003 建筑基桩检测技术规范[S].