

中等厚度铅合金铸件的超声波检测

王增勇, 孙朝明, 李建文

(中国工程物理研究院 机械制造工艺研究所, 四川绵阳 621900)

摘要:对铅合金铸件声学特征参数测试发现, 铅合金的纵波声速较低, 衰减系数较大, 为超声的强衰减材料。对不同孔径的平底孔试样检测结果表明, 目前采用超声水浸和直接接触法, 均可较好地检出 10 mm 厚板材内的 $\phi 1$ mm 人工缺陷。因此采用超声方法检测中等厚度的铅合金铸件是可行的, 重点是选取恰当的检测方法, 以实现最佳的检测灵敏度。

关键词:超声波检测; 铅合金; 衰减系数; 灵敏度

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)08-0511-03

Experimental Study on Ultrasonic Testing of Middle Thickness Pb Alloy Cast

WANG Zeng-Yong, SUN Chao-Ming, LI Jian-Wen

(Institute of Mechanical Manufacturing Technology, CAEP, Mianyang Sichuan 621900, China)

Abstract: The acoustic parameters of Pb alloy cast were tested. The results showed that the longitudinal wave velocity in the cast was relatively low and its attenuation coefficient was high, so it belonged to strong attenuation material for ultrasonic testing. The testing results of the flat-bottomed hole equivalent blocks with different diameter were analyzed, and it showed that $\phi 1$ mm defect in the plate with 10 mm thickness could be detected by immersion testing or direct contact method. Thus ultrasonic testing could be used to test Pb alloy cast of moderate thickness. However, the selection of appropriate testing method to achieve best sensitivity was a key problem.

Keywords: Ultrasonic testing; Pb alloy cast; Attenuation coefficient; Sensitivity

铅合金铸件为采用砂模和金属模铸造, 经机械加工成一定形状的、最大壁厚约 10 mm 的变壁厚曲面回转体。其材料性能要求非常高, 需严格控制铸件内部的夹渣和气孔等缺陷。

对铸件内部质量的无损检测, 国内外普遍采用超声和射线检测方法^[1-3]。由于铅合金材料的强衰减性, 工业上一般使用中子源或 γ 射线源对其进行检测, 设备费用、射线防护所需的基建和使用维护费用相当昂贵。

笔者开展的相关研究实现了壁厚 ≤ 4 mm 的铅铸件内部质量的高灵敏度检测^[4]。但对壁厚为 10 ~ 40 mm 的铅合金构件检测来说, 超声检测无疑是最经济实用且灵敏度较高的检测方法。笔者通过研

究铅铸件的声学特性参数和衰减特性, 为超声波检测方法在中等厚度铅合金构件检测中的工程应用打下基础。

1 铅合金声学参数测试

采用化学成分满足要求的铸造铅合金材料, 制作 $\phi 50$ mm $\times$ 15 mm 圆饼声学特性试样。采用流体静力衡量法, 通过试样在空气中和液体中两次测得的质量, 计算出试样的密度为:

$$\rho = \frac{m\rho_t}{m - (m' - m'')} \quad (1)$$

式中 ρ, ρ_t ——温度为 t 时试样和水的密度, g/cm³;
 m ——试样在空气中的质量, g;
 m' ——试样及吊具系统在水中的称量值, g;
 m'' ——吊具在水中的称量值, g。

采用 2.5 MHz 超声直探头测量声学参数, 纵波声速测试采用直探头双闸门法测量。通过测量两闸

收稿日期: 2007-07-05

作者简介: 王增勇(1971—), 男, 高级工程师, 主要从事无损检测工艺及技术研究。

门对应的反射波传播时间和工件厚度,即可算出铝合金铸件的声速为 2 346 m/s。根据材料声阻抗 Z 的定义,可得出 $Z=24.39 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}/\text{s}$ 。

超声衰减 α 主要包括散射衰减和吸收衰减。为消除超声探头与试样耦合对测量的影响,采用多次重复测量。通过精确测试试样一次底波与二次底波的波高差异,计算铝合金的超声衰减系数 α 为:

$$\alpha = \frac{h_m - h_n}{2(n-m)t} \quad (2)$$

式中 h_m, h_n ——第 m 和 n 次底波波高, dB;

t ——试样厚度, mm。

按式(2)计算出铝合金的衰减系数为 $0.507 \pm 0.07 \text{ dB/mm}$,而一般钢铁材料超声纵波(5 MHz 检测时)的衰减系数约 $3 \times 10^{-3} \text{ dB/mm}$,可见铝合金材料为超声强衰减材料。

综上,与钢铁材料相比,铝合金具有较短的波长和较大的衰减系数。因此,铝合金铸件的超声检测应采用较大晶片的超声换能器,以保证工件缺陷有足够高的反射回波声压,便于区分缺陷波和材质超声反射杂波。

2 超声检测试验

2.1 超声检测方法选择

由于铸件内部的晶粒粗大、组织不均匀和界面复杂等因素,增强了超声波的散射,使超声波的可穿透性差、能量衰减变大、杂波干扰大,导致缺陷的定量评定困难^[3]。因此,检测铸造铅锡锡合金部件时,方法和换能器的选用非常重要。

一般应采用较大的发射声压和大晶片换能器,以获得较高的反射回波。方法选择上,超声水浸聚焦检测一方面可使超声波能量相对集中,另一方面较好地解决了换能器与工件的耦合问题,其不足是对系统的综合性能要求极高和受被测对象的外形限制较多等;直接接触法可精确测定入射面下方的不连续性深度,且可直接用于大的固定被检物或复杂设备的狭窄区域。

2.2 试样设计

对薄壁铝合金构件的射线检测表明,铅铸件的内部缺陷主要为夹杂、夹渣、气孔和疏松等体积型缺陷^[4]。因此,设计试样时,宜重点设计体积型缺陷的超声反射模型。设计制作了平底孔试样,即在 $\phi 70 \text{ mm} \times 16 \text{ mm}$ 的圆柱体上分别钻制不同深度的 $\phi 0.5 \text{ mm}$, $\phi 1 \text{ mm}$ 和 $\phi 2 \text{ mm}$ 人工平底孔缺陷各一件(图 1)。

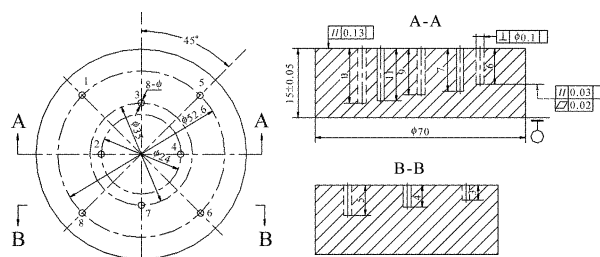


图 1 人工平底孔试样图

2.3 水浸法检测

采用研制的小焦点水浸聚焦超声波换能器 2.5P20F25(焦点尺寸 2 mm, 横向分辨力 0.5 mm)。检测时用透明胶带将试样人工孔的开口部位封住, 以提供良好的金属-空气界面。水浸耦合法中耦合介质声程长度和被检物厚度之间的关系为:

$$d_c > \frac{v_c}{v_m} N d_m \quad (3)$$

式中 d_c ——水声程长度, mm;

v_c ——水中声速, m/s;

v_m ——铅锡锡合金中的声速, m/s;

d_m ——铅锡锡合金厚度, mm;

N ——被检材料中重复反射的次数。

平底孔试样检测结果表明,水浸检测法可发现所有 $> \phi 1 \text{ mm}$ 的人工缺陷(图 2)。图 2 中的 3 处平底孔缺陷显示,白色区域面积越大对应的平底孔反射波幅值越大,即距离检测面距离越近。对 $\phi 0.5 \text{ mm}$ 人工缺陷的检测,由于其反射面积仅为 $\phi 1 \text{ mm}$ 缺陷面积的 1/4,且材料衰减系数较大,现有条件下难以检出。

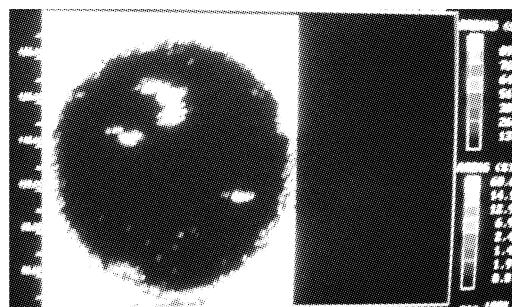


图 2 不同深度 $\phi 1 \text{ mm}$ 的平底孔的超声 C 扫描检测图

2.4 直接接触法检测

检测设备选用高性能超声波探伤仪,该设备的脉冲宽度可低至 15 ns,可测试最小厚度为 0.254 mm 的钢试样,脉冲电压可选 150 V 和 300 V,使用高性能 5 MHz, 12 mm(0.5")D 换能器,使系统的缺陷分辨力达 0.61 mm(钢)以上。试验中通过提高脉冲电压来

降低材料衰减对检测深度及缺陷信号的影响。 $\phi 1$ mm人工缺陷的距离-波幅曲线见图3。

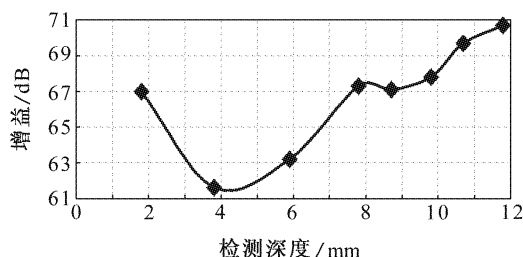


图3 铅合金的距离-波幅曲线

由图3可知,由于检测区域位于超声近场区,在近场区内的声压变化较大,致使缺陷回波定量不准。检测深度在距波源4 mm左右的深度范围内,由于声压极值点较为致密,反射波幅值与检测深度没有对应关系。当检测深度 >4 mm时,平底孔反射幅值随检测深度的增加而降低,因此,对薄壁工件的超声检测,最好采用水浸、双晶探头或加延迟块的方法,以避免声源附近的近场区。

同时,检测中发现,铅合金材质较软,直接接触法检测时容易划伤表面,工程应用中宜采用软膜超声换能器。

3 检测分析

试验表明,对10 mm厚的铅合金铸件,无论采用超声水浸方法或直接接触法,均可较好地检出10 mm厚板材内的 $\phi 1$ mm人工缺陷,但不易检出尺寸 $\leq \phi 0.5$ mm的缺陷。

上述研究仅限于实验室。对大厚度的铅合金构件检测的适用性尚需继续验证,尤其是壁厚约40 mm

的铅合金构件。工程上超声直接接触法更加适合,但铅合金铸件材质较软,且表面粗糙度较大,检测中尚需解决超声耦合、材质衰减对检测灵敏度的影响、检测方法选取、检测灵敏度控制等问题,尤其是检测灵敏度的控制。

在这方面,国内外学者曾采用特殊分析手段(如超声衍射时差法(TOFD)、声振分析法(AR)等)对不锈钢铸件、复合材料铸件和铸铁进行了检测^[5],取得了较好的效果。

4 结语

铅合金的纵波声速为2 346 m/s,衰减系数为0.507 dB/mm,为超声的强衰减材料。目前采用超声水浸和直接接触法,均可较好地检出10 mm厚板材内的 $\phi 1$ mm人工缺陷。今后的研究重点是解决厚度 ≥ 40 mm的铅合金构件的检测。

参考文献:

- [1] 美国无损检测学会编. 美国无损检测手册·超声卷[M]. 美国无损检测手册译审会,译. 上海:世界图书出版社,1996.
- [2] 美国无损检测学会编. 美国无损检测手册·射线卷[M]. 美国无损检测手册译审会,译. 上海:世界图书出版社,1996.
- [3] 中国机械工程学会无损检测分会编. 超声波检测[M]. 北京:机械工业出版社,2000.
- [4] 王增勇,徐彦霖,李建文,等. 薄壁曲面铅合金铸件X射线检测技术[J]. 铸造,2004,53(10):826—829.
- [5] 徐丽,刚铁,张明波,等. 铸件缺陷无损检测方法的研究现状[J]. 铸造,2002,51(9):535—540.

(上接第487页)

(2) 由于油管螺纹区壁厚比较薄,内部磁轭磁化易达磁化饱和,所形成的磁场相对也较均匀。

(3) 内部磁轭磁化方法设计的油管螺纹检测传感器体积小,重量轻,便于现场使用。

(4) 尽管以上3种检测方法都能够不同程度地实现缺陷的检测,但是第2种检测方法的信噪比和抗干扰能力较强,检测信号受背景磁场的干扰比较小,且不受提离值变化的影响,传感器在不同点处的检测能力差异也比较小。

套管螺纹区具有与油管螺纹区相同的结构,因此,它们在检测方法上也完全相同,不同的是,套管的外径和内径尺寸都比较大,因此检测系统中磁化

器和磁检测器的整体尺寸也比较大。

参考文献:

- [1] 王心吟,邵清华. 油管联接螺纹失效综合分析[J]. 石油矿场机械,2002,31(2):50—53.
- [2] Ding Jinfeng, Kang Yihua. Tubing Thread Testing by MFL[J]. NDT & E International, 2006, 39(6): 53—56.
- [3] 丁劲锋,康宜华,郝鹏程. 油管螺纹检测传感器的设计[J]. 仪表技术与传感器,2006,(1):4—5.
- [4] 丁劲锋. 石油管具螺纹漏磁检测方法研究[D]. 武汉:华中科技大学,2006.
- [5] 申忠玺,丁劲锋,康宜华. 钢管端部横向裂纹的漏磁检测方法[J]. 钢管,2005,34(5):40—44.