

超声检测中表面粗糙度引起的声衰减补偿

刘贵民

张昭光

(装备再制造国防科技重点实验室, 北京 100072) (装甲兵工程学院 装备再制造工程系, 北京 100072)

摘要:在超声检测中,被检工件表面粗糙度不同导致耦合损耗不同,往往使探伤灵敏度降低。目前常用的补偿耦合损耗的方法是根据材质制作对比试块,但该方法费时费力。根据大平底回波声压公式推导出了工件表面粗糙度和补偿量之间的关系,可直接通过计算得到表面粗糙度引起的衰减量。制作了具有不同表面粗糙度的对比试块,通过试验验证了推导公式的正确性。

关键词:超声检测;表面粗糙度;增益;补偿

中图分类号: TG115.28

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2007)04-0206-03

Compensation of the Wave Attenuation Deduced by Surface Roughness in Ultrasonic Testing

LIU Gui-min

(National Key Laboratory for Remanufacturing, Beijing 100072, China)

ZHANG Zhao-guang

(Department of Equipment Remanufacture Engineering of Academy of Armored Forces Engineering, Beijing 100072, China)

Abstract: In ultrasonic testing, the variation of surface roughness of workpiece tested induces various coupling losses, as a result the testing error is inevitable. The common method to compensate the coupling loss is to make various reference blocks according to the material of workpieces, obviously it consumes time and labor. An universal equation, which can be directly used to compute the compensation resulted by the surface roughness, was deduced according to the flat-bottomed echo formula. Reference blocks with various surface roughness were made and used to verify the validity of the equation deduced, and the experimental results proved its correctness.

Keywords: Ultrasonic testing; Surface roughness; Compensation of gain

材料表面性质影响超声检测与评价的准确性和可靠性,因此声波与粗糙面之间的相互作用的研究日益受到关注^[1]。由于表面粗糙度导致超声耦合损耗,因此必须对声波进行表面补偿。一般测定表面损耗差的方法是:在表面耦合状态不同但其他条件(如材质、反射体、探头和仪器等)相同的工件和试块上测定两者回波或穿透波高的幅度差^[2]。该方法由于需要根据工件材质制作对比试块,操作起来费时费力,直接影响检测前仪器的快速调试。以下介绍一种用理论方法计算表面补偿。

1 公式推导

1.1 大平底回波声压公式

对于大平底反射体,当探测距离 $x \geq 3N$ (N 为近场区长度)时,其回波声压 P 为^[3]

$$P = \frac{P_0 F_s}{\lambda x} \quad (1)$$

式中 P_0 ——探头波源的起始声压;

F_s ——探头波源面积;

λ ——超声波在介质中传播的波长。

1.2 条件假设

利用接触法探伤时,一般要求工件表面粗糙度 $R_a \geq 6.3 \mu\text{m}$ ^[4] (R_a 为轮廓算术平均偏差,是指在取样长度 l 范围内,被测轮廓线上各点至基准线的距

收稿日期: 2006-01-27

作者简介: 刘贵民(1971—),男,博士,副教授。主要从事无损检测及失效分析寿命预测方面的教学和科研工作。

离的算术平均值^[5])。对 $R_a > 6.3 \mu\text{m}$ 的工件,因工件会对探头有损伤,检测前必须对工件进行打磨。为便于问题探讨,作如下假设,即对厚度为 $3N$ 的钢质工件,把涂覆耦合剂后的工件表面粗糙层看作特定的均匀介质(图1介质1),其厚度用 $R_{\max}$ 表示($R_{\max}$ 为轮廓最大高度,指在取样长度 l 范围内,轮廓峰顶线和谷底线之间的距离^[5])。把工件其余部分看作表面完全光滑的另一均匀介质(图1介质2),超声波垂直入射到两介质组成的界面时全透射。

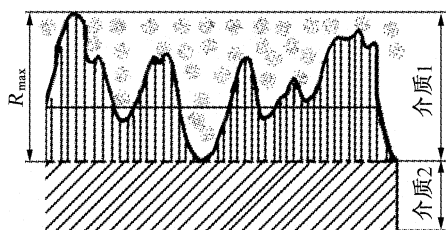


图1 表面粗糙层与工件轮廓示意图

1.3 推导过程

超声波在介质1和2中的传播过程如图2。

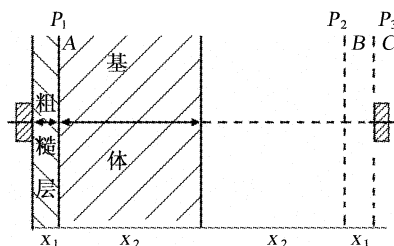


图2 声波在介质1和2中的传播示意图

根据假设,粗糙层厚度 x_1 ($x_1 = R_{\max}$) 和工件厚度 x_2 ($x_2 = 3N$) 是定值,超声波在粗糙层和基体中传播的声压示意图见图3。

声波从介质1向介质2传播时,由于波源的起始声压 P_0 不变,传播介质发生改变,则可假设同一坐标系下超声波在介质2中的传播声压公式为:

$$P = \frac{P_0 F_s}{\lambda_2 x + a} \quad (2)$$

式(2)中 a 为待定参数。

声波传播至 A 点时, A 点距离、声压值同时满足在介质1和介质2中的传播公式,把 $x = x_1$, $P_1 = P_0 F_s / \lambda_1 x_1$ 代入式(2)得 $a = (\lambda_1 - \lambda_2) x_1$,则声波在

介质2中的声压公式为

$$P = \frac{P_0 F_s}{\lambda_2 x + (\lambda_1 - \lambda_2) x_1} \quad (3)$$

把 $2x_2$ 代入上式得 B 点声压值

$$P_2 = \frac{P_0 F_s}{2\lambda_2 x_2 + (\lambda_1 - \lambda_2) x_1} \quad (4)$$

声波从 B 点到 C 点传播时,声压满足式(1)。把式(4)代入式(1),求得此时在介质1中传播的相应距离 $x = [2\lambda_2 x_2 + (\lambda_1 - \lambda_2) x_1] / \lambda_1$,即声波在介质2中传播 $2x_2$ 距离后的声压衰减量相当于声波在介质1中传播 $[2\lambda_2 x_2 + (\lambda_1 - \lambda_2) x_1] / \lambda_1$ 距离后的衰减量。把 $x = x_1 + [2\lambda_2 x_2 + (\lambda_1 - \lambda_2) x_1] / \lambda_1$ 代入式(1)得 C 点声压,即回波声压

$$P_3 = \frac{P_0 F_s}{2\lambda_2 x_2 + 2\lambda_1 x_1 - \lambda_2 x_1} \quad (5)$$

对于理想的表面粗糙层为零的工件,当其厚度为 x_2 时的回波声压为:

$$P'_3 = \frac{P_0 F_s}{2\lambda_2 x_2} \quad (6)$$

则表面补偿增益 Δ 为^[2]:

$$\Delta = 20 \lg \frac{P_3}{P'_3} = 20 \lg \frac{2\lambda_2 x_2}{2\lambda_2 x_2 + 2\lambda_1 x_1 - \lambda_2 x_1} \quad (7)$$

1.4 公式讨论

对于常用的钢质工件, x_2 和 x_1 即 $2\lambda_2 x_2$ 和 $\lambda_2 x_1$,则式(7)可表示为:

$$\Delta \approx 20 \lg \frac{\lambda_2 x_2}{\lambda_2 x_2 + \lambda_1 x_1} \quad (8)$$

式(8)即为表面粗糙度与声衰减补偿之间的关系式。对于经常检测的钢质工件,耦合剂选定后,超声波在介质1中的波长 λ_1 可一次性测出,即可依据式(8)求得不同表面粗糙度的表面补偿量。从而省去了制作各种对比试块的繁重工作量。工件材质和耦合剂不同时 λ_1 不相同,可根据具体耦合剂和材质推导所形成粗糙层的 λ_1 。

2 试验验证

2.1 λ_1 值的确定

采用 PXUT-350 型数字式超声波探伤仪, 2.5B20Z 探头,耦合剂为机油。制作的对比试块材质为

20 碳钢,直径 70 mm,高 128 mm,端面粗糙度 $R_{\max}$ 分别为 $8 \mu\text{m}$ 和 $15 \mu\text{m}$, $R_{\max}$ 为 $8 \mu\text{m}$ (其 R_a 为 $1.6 \mu\text{m}$) 的试块端面粗糙度相当于 CSK-IA 标准试块的表面粗糙度^[6],如图4。

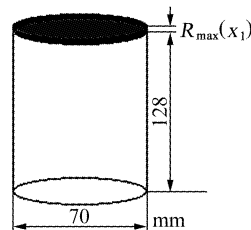


图4 对比试块示意图

以端面粗糙度为 $8\text{ }\mu\text{m}$ 的对比试块制作出大平底 AVG 曲线(图 5a)。测量端面 $R_{\max} > 8\text{ }\mu\text{m}$ 的同高度试块时,仪器显示的底面反射波高增益即为该试块的表面补偿值(图 5b)。对端面 $R_{\max} = 15\text{ }\mu\text{m}$ 的试块测试五次取平均值,得 $\Delta = -1.2\text{ dB}$ 。把 $\Delta = -1.2\text{ dB}$ 代入式(8)得 $\lambda_1 = 2.98\text{ m}$ 。

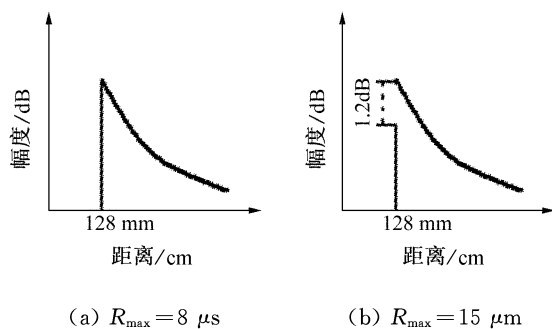


图5 端面粗糙度分别为8和15 μm 时的增益补偿曲线

2.2 试验过程与结果

制作尺寸如图4,端面粗糙度 $R_{\max}$ 分别为 $25\text{ }\mu\text{m}$ (试块1), $30\text{ }\mu\text{m}$ (试块2)和 $40\text{ }\mu\text{m}$ (试块3)的三个对比试块。按照前述分析求得实测和理论计算的表面增益和补偿值见表1。

从表1可知,实测和理论所得表面增益补偿的误差 $\geq 10\%$ 。因此可以用式(8)来直接计算由表面粗糙度引起的衰减量。

根据大平底面回波声压公式推导出的工件表面

表1 实测和理论计算的表面补偿增益值比较

试块号	$R_{\max}$ μm	表面补偿增益/dB		误差 %
		实测值	理论值	
1	25	-1.8	-1.9	5.0
2	30	-2.5	-2.3	8.0
3	40	-3.1	-2.9	6.5

粗糙度增益补偿公式(8)可直接用于计算表面粗糙度引起的增益衰减量,可提高检测效率和精度。

参考文献:

- [1] 陈自强,陈立功,倪纯珍,等.粗糙表面超声检测信号损失研究[A].第十次全国焊接会议论文集[C].黑龙江:黑龙江人民出版社,2001:818-819.
- [2] 全国锅炉压力容器无损检测资格考核委员会组编.超声波探伤[M].北京:中国锅炉压力容器安全杂志社,1995:120-121.
- [3] 《国防科技工业无损检测人员资格鉴定与认证培训教材》编审委员会编.超声检测[M].北京:机械工业出版社,2005:40-41.
- [4] JB 1152-1981,锅炉和钢制压力容器对接焊缝超声检测[S].
- [5] 王伯平.互换性与测量技术基础[M].北京:机械工业出版社,2000:108-111.
- [6] 韩秀君,魏忠瑞,马建民,等.超声检测用试块的制作和检验[J].无损探伤,2005,29(2):35-37.

(上接第205页)

由以上结论可以看出,连续小波变换也能够用于摩托车发动机的故障诊断,效果比较明显,计算时间比STFT要缩短很多。

3 结论

分析了摩托车发动机活塞击缸故障的产生机理和故障特征,对正常、轻度、中度和严重故障发动机的噪声信号进行了采样,然后分别利用STFT和连续小波变换识别发动机故障噪声中的故障特征,主要结论如下:

(1) STFT和连续小波变换均能识别摩托车发动机噪声中的活塞击缸故障信号,效果令人满意。

(2) 故障信号的能量与故障的严重程度密切相关,因此可以通过联合时频谱上故障信号的能量来

判断故障的严重程度。

(3) STFT所占用的运算时间和内存比连续小波变换要多,因此利用连续小波变换可以提高诊断效率。

参考文献:

- [1] 魏广华,张玉峰.柴油机活塞敲缸故障分析[J].建筑机械化,2005,(7):63-64.
- [2] 王洪海.机车内燃机常见故障的微机综合诊断技术的研究[D].郑州:郑州工学院,1991.5.
- [3] Martin V, Cormac H. Wavelets and filter banks: theory and design[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 1992,40:2207-2232.
- [4] 胡政,温熙森,陈循.基于小波变换的发动机噪声诊断[J].中国机械工程,2001,12(5增刊):142-147.