

超声检测时探头压力对缺陷尺寸评定的影响

肖 峰, 俞卫权, 桂兴亮

(马鞍山钢铁股份有限公司车轮公司, 马鞍山 243000)

摘 要:理论计算了超声检测时不同频率声波和不同耦合层厚度时的声强往复透射率, 分析了耦合层厚度变化对不同频率声波回波高度的影响, 表明回波高度将随耦合层厚度的减小而上升, 且耦合层厚度发生同样变化时高频探头的回波高度变化大于低频探头的回波高度变化。直探头试验证明, 缺陷波高随着探头压力的加大而上升, 且探头压力发生同样变化时高频探头的回波高度变化大于低频探头的回波高度变化。因此, 使用高频探头检测时, 保证缺陷定量时的探头压力与探伤灵敏度校准时一致, 对于缺陷准确尺寸评定至关重要。

关键词:超声检测; 耦合层厚度; 声波频率

中图分类号: TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2015)06-0074-03

Effect of Pressure on the Ultrasonic Probe on Defect Size Assessment

XIAO Feng, YU Wei-quan, GUI Xing-liang

(Maanshan Iron & Steel Co., Ltd., Wheel Company, Ma'anshan 243000, China)

Abstract: The reciprocating transmittance of sound intensity during ultrasonic testing was theoretically calculated for different frequencies and different coupling layer thickness. The influences of the thickness of coupling layer on the height of echo for different frequencies sound waves were analyzed. This result indicates that the height of echo rises when the thickness of coupling layer decreases and it will rise higher while using probes of high-frequency. The experiments of straight probe indicate that the height of defect echo rises when the pressure on probe increases and this phenomenon will be more obvious using high-frequency probes. So it is significantly important when evaluating the size of the defect to ensure that the pressure on high-frequency probes is the same as the pressure on carrying out sensitivity calibration.

Keywords: Ultrasonic testing; The coupling layer thickness; Acoustic frequency; Defect quantification

GB/T 6402—2008《钢锻件超声检测》中规定, 探头标称频率应在 1.0~6.0 MHz 范围之内, 直探头的晶片有效直径应在 10~40 mm 之间。2.5 MHz ϕ 20 mm, 5 MHz ϕ 14 mm, 5 MHz ϕ 20 mm, 2.5 MHz ϕ 14 mm 是国内最常见的几种探头。钢锻件手动超声检测中发现, 不同探伤人员使用相同的仪器、相同的 5 MHz、 ϕ 14 mm 探头和同样耦合剂, 缺陷大小评定结果存在较大差异(可达 4~6 dB)。这种差异来源于不同探伤人员用手压探头的操作习惯不同。而使用 2.5 MHz ϕ 20 mm 探头时, 这种差异却不明显(一般为 1~2 dB)。这给钢锻件超声检测的结果判定带来较大分歧。

1 耦合层厚度和声波透射率

在手压探头用力不同时会导致回波幅度的变化, 这种现象在手动超声检测时比较常见。分析原因很简单, 是因为手压探头用力不同而影响探头与工件表面的耦合效果。如果工件表面平面度和粗糙度、所用耦合剂符合检测要求, 而且操作方法正确的话, 那么耦合效果表现为声强透射率的大小, 并取决于耦合层厚度 d_2 。当超声波垂直入到两侧介质声阻抗不同的薄层时(如图 1 所示), 声强透射率为^[1]:

$$T = \frac{I_3}{I_1} = \frac{I_1}{I_3} = \frac{4Z_1Z_3}{(Z_1 + Z_3)^2 \cos^2 \frac{2\pi d_2}{\lambda_2} + (Z_2 + \frac{Z_1Z_3}{Z_2})^2 \sin^2 \frac{2\pi d_2}{\lambda_2}} \quad (1)$$

收稿日期: 2014-10-24

作者简介: 肖 峰(1967—), 男, 高工, 硕士, 主要从事铁路用辗钢车轮相关技术研究及质量管理工作。

式中: T 为声强透射率; $I_1、I_1'$ 为入射波、返回波在介质1界面处的声强; $I_2、I_2'$ 为入射波、返回波在薄层介质2中的声强; $I_3、I_3'$ 为入射波、返回波在介质3界面处的声强; Z_2 为薄层介质2的声阻抗; $Z_1、Z_3$ 为薄层两侧介质1、3的声阻抗; d_2 为薄层厚度; λ_2 为薄层介质中声波波长。

假设声波介质3中 $\frac{I_3'}{I_3}=\partial$,则声强往复透射率为:

$$T' = \frac{I_1'}{I_1} = \frac{I_1'}{I_3} \times \frac{I_3}{I_1} = \frac{I_1'}{I_3} \times \frac{\partial \times I_3}{I_1} = \partial \times \frac{I_1'}{I_3} \times \frac{I_3}{I_1}$$
$$= \partial \times T \times T = \partial \times T^2 \tag{2}$$

声波往复的声能损失(dB值):

$$\delta = 10\lg \frac{I_1'}{I_1} = 10\lg(\partial \times T^2)$$
$$= 10\lg(\partial) + 20\lg T \tag{3}$$

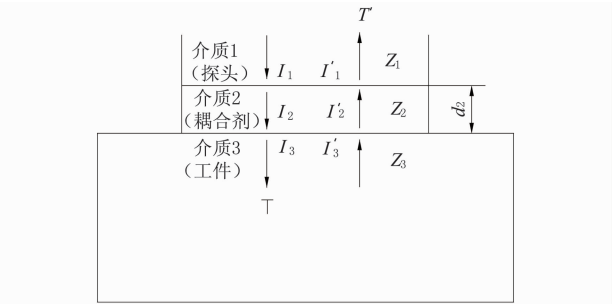


图1 超声波在薄层的透射和反射

具体到采用2.5 MHz和5 MHz带刚玉保护膜
的纵波直探头、机油耦合剂对钢进行检测的情况下:
 $Z_1=33\times10^6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, $Z_2=1.28\times10^6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$,
 $Z_3=45\times10^6\text{ kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$, $C_2=1\,425\text{ m/s}$,对于
2.5 MHz, $\lambda_2=0.57\text{ mm}$;对于5 MHz, $\lambda_2=0.285\text{ mm}$
按公式(1)计算声强透射率 T ,再计算 $20\lg T$ 声强
往复透射率值,得到不同薄层厚度对应的 $20\lg T$ 值
和 $20\lg T-d_2$ 曲线,分别见表1和图2。按公式(3)
和表1计算耦合层厚度变化引起的回波高度变化,
见表2。

表1 不同薄层厚度(d_2)对应的声强往复透射率值 dB

薄层厚度 / μm	探头频率	
	5 MHz	2.5 MHz
1.0	-1.1	-0.4
1.5	-2.1	-0.7
2.0	-3.3	-1.1
2.5	-4.6	-1.5
3.0	-6.0	-2.1
3.5	-7.4	-2.6
6.0	-13.7	-6.0
6.5	-14.8	-6.7
12.0	-24.1	-13.7
12.5	-24.8	-14.3

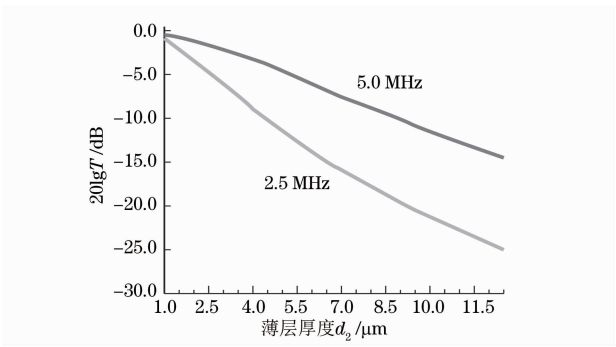


图2 声强往复透射率对应薄层厚度曲线

表2 薄层厚度(d_2)变化引起的回波高度变化 dB

薄层厚度 变化 / μm	探头频率	
	5 MHz	2.5 MHz
12~6	10.4	7.8
6~3	7.8	3.9
3~1.5	3.9	1.3
2~1	2.2	0.6

由图2和表2可见:

- (1)相同薄层厚度条件下,低频声波的声强往复透射率大于高频声波的声强往复透射率。
- (2)回波高度将随着薄层厚度的减小而上升。
- (3)当薄层厚度发生同样变化时,高频声波的回波高度变化大于低频声波的回波高度变化。

2 探头压力与回波高度试验

超声检测时薄层厚度无法准确测量。但在其他
条件一定时,可以认为薄层厚度与探头压力有关,且
在一定范围内薄层厚度随着压力的加大而减小。因
此,根据前面的理论分析结论可以推断在一定范围
内加大探头压力将使回波高度上升。为比较使用不
同频率探头检测时探头压力大小对回波高度的影
响,设计了以下试验。

试验一为探头压块质量对缺陷波高的影响。

(1)试验条件:①一台 CUD-2080A 型数字超
声检测仪;②一只 2.5 MHz $\phi 20$ 直探头和一只
5 MHz $\phi 20$ 直探头,按 TB/T 2047.3 标准测试合
格;③一块高度为 145 mm 锻件参考试块,含有距扫
查面 85 mm 深 $\phi 1$ mm 的平底孔,扫查面粗糙度
 $Ra\leq 1.6\text{ }\mu\text{m}$;④若干探头压块,重量分别为 0.5,1.
0,2.0,5.0 kg。

(2)试验方法:探头上加不同数量压块,在试块
上找准平底孔,不改变增益量,记录 $\phi 1$ 平底孔反射
波高。

(3)试验结果图3所示。

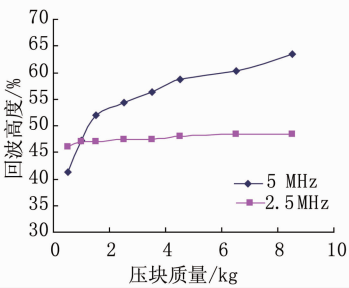


图 3 探头压块质量- $\phi 1/80$ 平底孔反射波高度曲线
试验二为手动检测探头压力测试。

(1) 试验条件:①一台 CUD-2080A 型数字超声检测仪;②一只 2.5 MHz/ $\phi 20$ 直探头和一只 5 MHz/ $\phi 20$ 直探头,按 TB/T 2047.3 标准测试合格;③一块高度为 145 mm 锻件参考试块,含有距扫描面 85 mm 深的 $\phi 1$ mm 平底孔,扫描面粗糙度 $R_a \leq 1.6 \mu\text{m}$;④一台电子台秤。

(2) 试验方法:在电子台秤模拟超声检测动作,

记录正常单手持探头扫查、正常单手压探头进行灵敏度校准或缺陷定量、双手压探头进行缺陷定量等三种状态下台秤的显示值。

(3) 试验结果见表 3。

表 3 手动超声检测探头压力

序号	状态	压力范围 /N
1	正常单手持探头扫查	3.9~6.9
2	正常单手压探头灵敏度校准和缺陷定量	19.6~29.4
3	双手压探头缺陷定量	39.2~88.2

试验结果分析和讨论:

从表 3 中三种状态对应的压力范围内分别选取 1~2 个压力值,再从图 3 中查不同压力值所对应的平底孔反射波高值,得到表 4。由表 4 可见,手动检测时探头压力对缺陷波高的影响,以及这种影响因探头频率的不同而产生的差异。

表 4 手动超声检测平底孔反射波高度变化

序号	状态	压力 /N	不同频率探头检测 平底孔泻幅 /%		相对 4.9 N 压力下的 反射波高差 /dB	
			5 MHz	2.5 MHz	5 MHz	2.5 MHz
1	单手轻压探头扫查	4.9	41.2	46.0	0	0
2	单手压探头灵敏度校准和缺陷定量	25.9	54.3	47.5	2.4	0.3
3	双手一般力量压探头缺陷定量	44.1	58.7	48.0	3.1	0.4
4	双手较大力量压探头缺陷定量	83.3	63.5	48.5	3.8	0.5

以上结果是在扫描面粗糙度 R_a 不大于 $1.6 \mu\text{m}$ 的试块上通过试验得出的。在对扫描面粗糙度 R_a 不大于 $6.3 \mu\text{m}$ 的工件进行实际检测时发现,缺陷定量时加大用力压探头得到的缺陷当量大小要比正常用力(与灵敏度校准时用力一致)压探头得到的结果大得多,对于 5 MHz 和 2.5 MHz 直探头,变化分别可达 4~6 dB、1~2 dB。

另外实际检测时还发现,即使同样是 5 MHz 直探头,使用 $\phi 14$ 探头时压力对缺陷波高的影响要比使用 $\phi 20$ 探头时大。推断其中原因是:同样压力下小直径探头下的压强大于大直径探头,因此相同的探头压力变化应使得小直径探头下的耦合层厚度变化大于大直径探头。

3 结论

(1) 相同耦合层厚度条件下,低频声波的声强往复透射率大于高频声波的声强往复透射率;回波高度将随着耦合层厚度的减小而上升;当耦合层厚度发生同样变化时,高频声波的回波高度变化大于

低频声波的回波高度变化。

(2) 探头压力影响探头与工件之间的耦合层厚度,缺陷波高随探头压力的加大而上升;当探头压力发生同样变化时,高频探头的回波高度变化大于低频探头的变化。

(3) 实际手动检测中,若使用高频探头,尤其是小直径的高频探头,缺陷定量时探头压力的大小对得出的缺陷当量大小有不可忽视的影响。因此,使用高频探头检测时,保证缺陷定量时探头压力与探伤灵敏度校准时一致,对于缺陷准确定量至关重要。

(4) 应考虑耦合剂中杂质对耦合层厚度的影响以及因此导致对探伤灵敏度校准和缺陷定量的影响。因此,实际手动检测中,应事先清洁待检工件的扫描面和使用无杂质的耦合剂。

参考文献:

[1] 郑晖,林树青. 超声检测[M]. 2 版. 北京:中国劳动社会保障出版社,2008:37.