

截止频率法提取粗晶材料 超声检测的目标反射信号*

左建国

(衡阳钢管厂 湖南衡阳 421001)

对于粗晶材料的超声检测,当组织噪声很强而目标反射信号又很弱时,分离谱技术及其常规的恢复算法不能起到有效的降噪作用。本文在分离频谱法的基础上,提出一种改进的信号处理技术——截止频率法。实验结果表明,该方法能从很强的组织噪声中将微弱的目标反射信号提取出来,从而有效地消除了材料组织噪声的影响。

关键词: 截止频率法,粗晶材料,超声检测,信号处理

Extraction of target echo signals for the ultrasonic testing of coarse grained materials by cut-off frequency technique

ZUO Jianguo

(Hengyang Steel Tube Mill, Hunan Hengyang 421001)

For the ultrasonic testing of coarse grained materials, split-spectrum processing (SSP) technique with conventional algorithms could not work for the reduction of material noise when the structural noise is strong while the target echoes are weak. In this paper, a new signal processing technique, cut-off frequency technique, is developed on the base of SSP. It is shown by the experimental results that the technique presented here can extract weak target echoes from strong structural noise, and hence eliminate the influences of structural noise of the material efficiently.

Key words: cut-off frequency technique, coarse grained material, ultrasonic testing, signal processing

1 引言

超声检测技术作为材料检测与评价的常规方法之一,在工业技术各领域得到了广泛的应用,对提高产品质量、保证设备的安全运行发挥了重要的作用。然而,在检测诸如奥氏体不锈钢、水平连铸圆钢等粗晶材料时却遇到了不可克服的困难:材料组织散射噪声的存在严重地干扰了目标反射信号的正确识别与评价,从而使得超声检测无法进行。因此,采用有效的信号处理方法对粗晶材料超声检测的原始信号进行处理以消除组织噪声的影响,就成为该领域的重要任务之一。

用于粗晶材料超声检测的信号处理方法

有多种,如小波变换法^[1]、空间平均法、角度平均法^[2]及分离频谱法等^[3]。其中以分离频谱法的研究与应用较为广泛,并且确实解决了一些粗晶材料的超声检测问题^[4-5]。有关研究表明^[6],在一定的条件下,它能够增强信噪比,从而有助于识别目标反射信号。

但是,常规的分离谱技术受到诸多因素的制约而难以推广应用,如需精确地确定检测信号的中心频率与频带宽度以及滤波器的个数等重要技术参数,且当目标反射信号较弱而组织噪声较强时不能有效地提高信噪比等。有鉴于此,本文在常规分离频谱法的基础上,提出一种改进的信号处理方法——截止频率法。该方法不需要精确地设置与原始检

* 国家非教育系统留学回国人员B类经费资助项目部分内容

作者:男,1959年9月出生,高级工程师

收稿日期:97-6-17;修回日期:97-9-1

测信号直接有关的技术参数,如中心频率、频带宽度等。尤其重要的是,可任意设定滤波器的个数而不影响信号的处理结果。检测实验的研究表明,截止频率法可有效地消除组织噪声的影响,从而成功地从很强的组织噪声中将微弱的目标反射信号提取出来。

2 截止频率法原理

截止频率法是一种数字信号处理方法,它是以信号的频谱分离和极性阈值算法为基础来提取原始检测信号中的目标反射信号。

设检测用超声换能器的标称频率为 f_c ,它作为发射、接收的双用探头接收到的原始检测信号中心频率设为 f_0 ,其离散化的傅里叶幅度谱包络线假定如图1中的虚线所示。由于原始检测信号的中心频率和频带宽度由多种因素所决定,如对于不同的材料它们是不同的;或即使是同一种材料,检测位置不同时也可能是不同的。因此,要确定它们并不是一件很容易的事情。本文以检测换能器的标称频率 f_c 为中心来对原始检测信号进行频谱分离,而不管其频带宽度是多少。

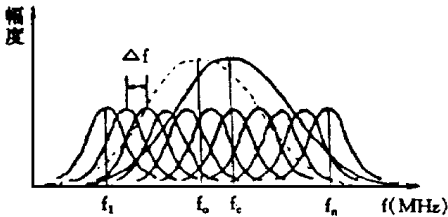


图1 截止频率法原理

图中,以检测换能器的标称频率 f_c 为中心,任意设定 n 个窄带滤波器。这些滤波器都具有相同的带宽和频率间隔 Δf ,其中心频率分别为 f_1, f_2, \dots, f_n 且关于 f_c 对称分布。离散化的原始检测信号经快速傅里叶变换后,由这 n 个滤波器分离成 n 个频域信号,再经快速傅里叶逆变换就得到 n 个时域分离信号 $X_1(t), X_2(t), \dots, X_n(t)$ 。

由于原始检测信号的频带宽度是未知的,因此任意设定的 n 个滤波器的频率范围 $f_n \sim f_1$ 就不一定在原始检测信号的频带范围

内,故上述 n 个分离信号组成的集合

$$\{X_1(t), X_2(t), \dots, X_i(t), \dots, X_n(t)\} \quad (1)$$

并不代表而只是包括了原始检测信号。在这种情况下,分离谱技术的常规恢复算法、最小值法和极性阈值法,就不再有效。

当不存在目标反射信号时,上述 n 个分离信号中包含的全部是噪声。分离原始检测信号频谱的原因就是由于材料组织噪声的幅度和极性随频率的改变而变化,故 n 个分离信号的极性是各不相同的,其正负号出现的几率相等。如果我们将这些分离信号迭加起来,其结果应为0或接近0,所以,我们设定此时输出的处理结果为0。

设在某一时刻出现目标反射信号,此时 n 个分离信号中有一部分既含有组织噪声又含有目标回波,而其余部分则仍然只包含组织噪声。对于只包含组织噪声的这些分离信号来说,其迭加的结果与前述不存在目标反射信号时的处理结果相同,亦即为0。而对于包含目标回波的那些分离信号来说,它们应该是以某一分离信号为中心(对应于原始检测信号中心频率 f_0 的滤波器中心频率)并由其前后若干分离信号组成的一个连续的分离信号序列。在这一连续的分离信号序列中,所有分离信号都应有相同的极性。因此,如果将它们迭加起来,其中的组织噪声基本上互相抵消,剩下的就只有目标反射信号了。

上述过程可用数学式表示为:

$$y(t) = \begin{cases} X_m(t) & \text{或 } X_m(t) > 0 \\ X_m(t) & \text{或 } X_m(t) < 0 \\ 0 & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

$$\Delta f(t) = f_j(t) - f_i(t) \quad (3)$$

式中, $y(t)$ 为最终输出的处理结果, $X_m(t)$ 是第 m 个分离信号, $f_i(t)$ 和 $f_j(t)$ 分别是 t 时刻输出信号 $y(t)$ 的低频端和高端的瞬时截止频率,则 $\Delta f(t)$ 为瞬时频带宽度。由于输出信号是低频端和高端截止频率范围内的分离信号迭加而成的,故称上述信号处理过程为截止频率法。

由于 $\Delta f(t)$ 、 $f_i(t)$ 和 $f_j(t)$ 在不同的时刻是不相同的,这样就保证了没有目标反射信号出现时,输出结果 $y(t) = 0$ 。

3 实验结果

实验采用的试样为一段水平连铸圆钢,这种材料具有典型的柱状粗晶组织结构^[7]。试样中钻有 ϕ 横孔,采用标称频率为 5MHz 的纵波直探头斜入射对其进行液浸法检测。原始检测信号经 40MHz A/D 转换模块数字化后送入 486 微机进行前述信号处理。图 2 给出了上述试样的实验结果。

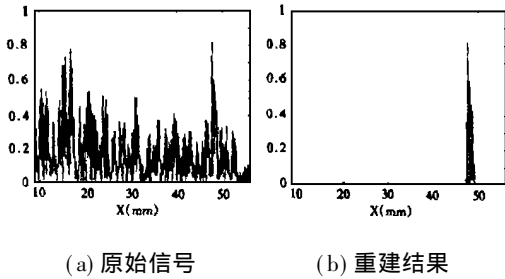


图2 ϕ 横孔实验结果

图中,纵坐标表示信号的归一化幅度,横坐标表示检测声程(图中取横孔回波附近组织噪声较强的一段)。

由图可知,尽管原始检测信号中 ϕ 横孔的回波幅度较大,但由于组织噪声强烈,信噪比极低。经截止频率法进行信号处理后,不但所有的组织噪声得以消除(已在前面介绍截止频率法原理时指出),而且目标反射信号的波形和幅度均基本不变。故截止频率法能有效地消除噪声,较好地重建目标回波。

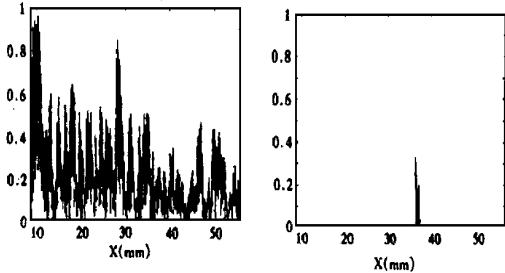


图3 检测实例

另一实验试样为一段含有中间裂纹的圆钢。所有检测条件与前述实验相同。图 3 给出了检测结果。

由图 3(a) 可见,原始检测信号既强烈又复杂,无法辨别出缺陷回波。经截止频率法作信号处理后,得到图 3(b) 所示的信号重建结果。该试件经酸蚀后作断面低倍分析,证实图 3(b) 所指声程处确有一中间裂纹存在,它处于两个柱状晶粒的交界处,沿径向延伸。

4 结 论

常规分离频谱法由于需要精确地设置若干重要的技术参数而难以应用,且当目标反射信号较弱而材料的组织噪声较强时不能发挥其作用。本文提出的截止频率法克服了上述缺点,它不但不需要精确地设置与原始检测信号有直接关系的任何参数,这对实际应用来说是十分重要的,还能从强烈的组织噪声中将微弱的目标反射信号有效地提取出来,因而操作简便、实用,可望成为粗晶材料超声检测信号处理的有力工具之一。

参考文献

- 1 陈岳军, 史耀武. 小波变换模极大值在粗晶材料超声检测中的应用. 无损检测, 1997; 19(2): 32
- 2 Li, Y. and Ying, C. F., Two signal processing techniques for the enhancement of the flaw-to-grain echo ratio. Ultrasonics, 1987; 25(2): 90 ~ 94
- 3 Newhouse, V. L., Bilgutay, N. M., Saniie, J. and Furgason, E. S., flaw-to-grain echo enhancement by split-spectrum processing. Ultrasonics, 1982; 20(2): 59 ~ 68
- 4 Rose, J. L., Karpur, P. and Newhouse, V. L., Utility of split-spectrum processing in ultrasonic nondestructive evaluation. Materials Evaluation, 1988; 46(1): 114 ~ 122
- 5 Silk, M. G., Benefits of signal processing in ultrasonic inspection. Insight, 1994; 36(10): 776
- 6 刘镇清. 用于增强超声检测信号的分离谱处理性能分析. 声学技术, 1997; 16(1): 32 ~ 35
- 7 张才安, 王典愚, 刘志槐等. 水平连铸管坯穿孔时顶头前压缩率的研究. 钢管, 1997; 26(1): 13