

超声检测用窄脉冲探头高阻抗背衬的研制

滕永平

(北方交通大学 北京 100044)

摘要 利用一种简单的压力装置,制作与 PZT 压电晶片匹配的背衬块,最高声阻抗可达 $25.1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。用于试制窄脉冲探头,可以实现 1.5 周期的脉冲。

关键词 超声检测,窄脉冲探头,背衬

Development of high impedance backing composites for broad-band ultrasonic transducers

Teng Yongping

(Northern Jiaotong University, Beijing 100044)

Abstract Described is the development of high-impedance backing composites (up to $25.1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) by using a kind of simple compressor. Working in cooperation with PZT-5 or PZT-6, it gives a pulse width of 1.5 cycles.

Key words Ultrasonic testing, Broad-band transducer, Backing composite.

1 引言

在粗晶材料的超声检测中,为了减少声能在材料中的衰减、提高缺陷的纵向分辨率和信噪比、防止假信号的出现,需要制作宽带窄脉冲、高灵敏的超声探头。这种探头的制作常用且有效的方法是制作与压电晶片匹配的背衬块,而用一般的方法制作的钨粉-环氧树脂混和物背衬的声阻抗在 $10.0 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 左右,与常用的 PZT 压电晶片的声阻抗 ($\sim 31.0 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$) 相差甚远。为此,人们采用了多种工艺和材料^[1-3],有钨粉-乙烯树脂混和物、钨粉-锡、钨粉-环氧树脂混和物等,都可达到与 PZT 压电晶片匹配,但文献没有详细说明制作工艺。实际上,背衬的声阻抗只要达到晶片声阻抗的 2/3 就可以实现

高灵敏的窄脉冲^[4,5]。下面介绍一种高阻抗背衬的制作方法,只需使用简单的制作设备,便可重复制作声阻抗在 $23.0 \sim 25.1 \times 10^6 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 的背衬块,利用这些背衬块粘接 2.5P20 和 4.5P20 晶片,都能实现 1.5 周期的短脉冲。

2 高阻抗背衬块的制作

制作装置如图 1 所示,由管体、底板、顶盖和台钳组成。管体和底板用 502 万能胶粘接;顶盖直径略小于管体内径;台钳用于加压,限于本实验室现有条件,作者致力于制作直径为 20mm、长度为 5~10mm 的柱形背衬块,所采用的背衬材料是钨粉+环氧树脂+少量固化剂(二乙烯三胺);钨粉为 100 目和 300 目的混和物,具体制作方法如下:

(1) 把 100 目和 300 目钨粉按一定比例混

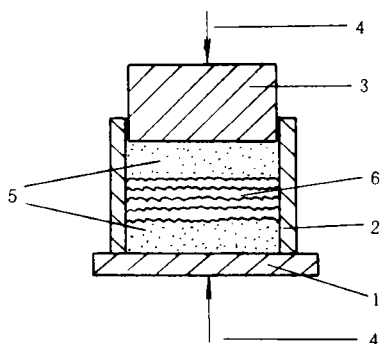


图1 制作背衬加压装置

1——底板；2——柱形管体；3——顶盖；4——加压台钳；
5——钨粉混和物；6——钨粉—环氧树脂混和物。

和均匀；取 1/3 左右放入图 1 装置中，并用圆片物体适当用力压平，作为背衬块的第一层。

(2) 另用一容器装上一定量环氧树脂；再取 1/3 混和钨粉逐渐溶入环氧树脂中，并加入少量二乙烯三胺；搅拌均匀，去掉气泡后，逐渐注在第一层上，得到背衬块的第二层。

(3) 把剩余的 1/3 混和钨粉平铺第二层上；加上顶盖，制得背衬块第三层。

(4) 把装好三层背衬材料的柱体装置放在台钳上，平缓均匀地加压；加压强度至顶盖周围有环氧树脂液状物溢出为止。

(5) 在室温定压固化 24 小时，或 120℃定压固化 8 小时后，混和物完全固化；先去掉底板，然后锯开管体，再去掉顶盖，即得高阻抗背衬块。

把制成的背衬块两端磨平，便可对其声学性能进行测试，或用于粘接晶片。

3 高阻抗背衬块的声学性能

表 1 是利用以上方法制得的背衬块的一些声学特性的测试数据，各特性量的测试方法比较简单，密度是直接测体积和质量而获得；纵波声速是结合 5052UA 超声分析仪和 TEK 100 MHz 数字示波器，利用一发一收双直探头方式测得背衬中声波传播时间，进而获得背衬中的纵波声速，由此得到的数据虽然存在一定的误差，但其准确度对于窄脉冲探头制作（达到 PZT 晶片声阻抗的 2/3）已经足够了，声吸收的测量是利用 2.5M 市售直探头，通过对背衬块二次底波的测量，从而估算得到的结果，误差可能较大，这里仅供参考。

由表 1 可见：

(1) 当 100 目钨粉所占重量百分比在 68.0—75.4% 以内，可以制得较高密度的背衬块，平均值达到 10.7g/cm^3 ；相应的纵波声速也较大，这可把背衬看作由 100 目钨粉紧密堆集，靠 300 目或更小颗粒的钨粉与环氧树脂的混和物填充。

(2) 当环氧树脂重量百分比在 4.5—5.4% 以内，背衬的纵波声速较大，平均值为 2.25km/s ，相应的声阻抗在 $23.0—25.1 \times 10^6 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 之间，在本文介绍的背衬制作方法中，能施加的压力强度有限（手动台嵌加压），因此，制作过程中要严格控制环氧树脂的比例。环氧树脂的浓度过高，不能把剩余的挤压出来；环氧树脂的浓度过低，又不能充分填满钨粉。

表 1 高阻抗背衬块的声学性能

编 号	配料重量百分比 ÷			密度 (g/cm^3)	声速 (km/s)	声阻抗 ($\times 10^6 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$)	声衰减系数 (dB/mm)	粘接晶片 编号
	100 目	300 目	环氧					
1	65.0	29.0	6.0	9.9	2.10	20.8	2.1	~
2	68.0	26.0	5.0	10.4	2.21	23.0	~	~
3	68.0	26.5	4.5	10.8	2.20	23.8	1.6	2.5M-1
4	72.0	23.2	4.8	10.8	2.22	24.0	1.8	2.5M-3
5	80.3	14.3	5.4	10.2	2.28	23.3	1.5	4.5M-1
6	91.3	2.2	6.5	9.1	2.16	19.6	~	2.5M-2
7	88.4	4.6	7.0	8.8	2.15	18.9	1.6	4.5M-2
8	75.4	19.6	5.0	10.7	2.35	25.1	1.3	2.5M-4

(3) 在声衰减测试中, 由于受方法和实验条件的限制, 这里给出的是尽可能准确的参考值, 它们的范围在 1.3—2.1dB/mm 之间, 因此, 利用这些背衬粘接晶片, 背衬长度要达到 6.2—10.0mm 才能衰减掉 95% 的声能。

在钨粉—环氧树脂比例一定的情况下, 利用本文介绍的制作工艺所得到的背衬块的密度、纵波声速和声阻抗与其他方法的结果有一定的差异^[5], 作者认为这与具体的配料比例、混和方法、加压方式和固化过成有关。

4 试制窄脉冲探头

用于粘接背衬块的压电晶片有中科院声学所提供的 PZT-6 和铁科研仪器设备厂提供的

PZT-5, 规格有 2.5P20 和 4.5P20, 声阻抗在 $31 \times 10^6 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 左右。所用的粘接剂有 914 万能胶和环氧树脂+10% 二乙烯三胺; 保护膜有 0.3mm 玉刚片和 0.1mm 铜片, 还适当加上匹配电路用于调整波形和灵敏度。限于篇幅, 具体工艺和调试将另文介绍。

图 2 是用绘图仪记录下来的试制窄脉冲探头对 25mm 厚钢板底面一次回波的波形。其中, 编号 2.5M-1 是指用标称为 2.5P20 的晶片试制的 1 号探头, 其它类同。各探头所用背衬块列于表 1 中, 探头波形的测试条件为:

探伤仪: 5052UA 超声分析仪; 示波器: TEK 2402A 100MHz 数字示波器; 记录仪: TEK HC100 绘图仪; 耦合剂: 机油; 负载: 25mm

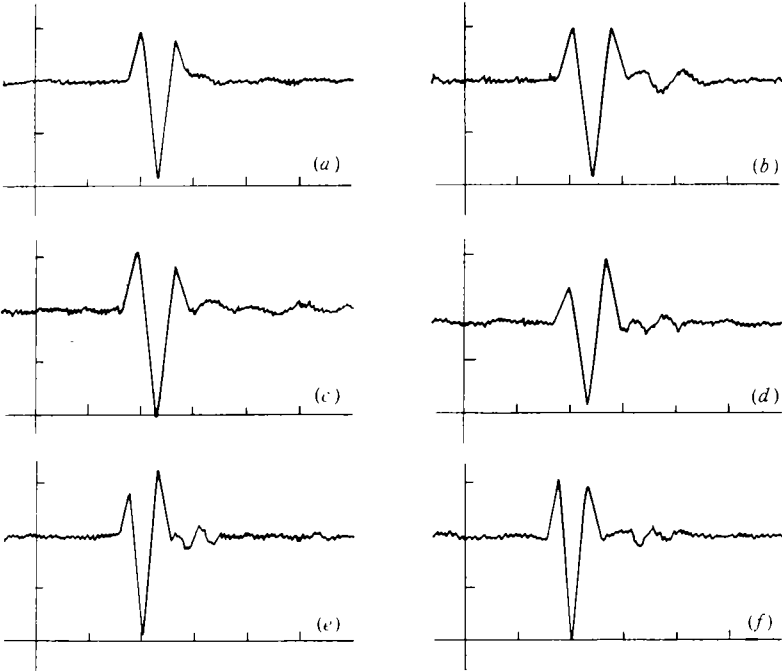


图 2 试制窄脉冲探头波形 (X——500ns/div; Y——500mv/div).
(a) 2.5M-1; (b) 2.5M-2; (c) 2.5M-3; (d) 2.5M-4; (e) 4.5M-1; (f) 4.5M-2.

厚钢板 (CSK-IA 试块)。

另外, 还用汕头 E-230 探伤仪和 HITACHI 100MHz 示波器对相同负载进行测试, 所得波形的特征与图 2 的波形基本一致。

从图 2 可以看出, 利用本文介绍的工艺制作的背衬块可以用于制作窄脉冲探头, 并且可

以达到 1.5 周期的短脉冲。

5 结论

通过以上的制作和测试, 可以认为: 利用简单的压力装置可以重复制作声阻抗在 23.0—
(下转第 20 页)

声的峰值超压在 48—480Pa 之间, 持续时间的范围为 0.05s—0.5s. 战斗机轰声的持续时间的量级为 0.1s. 英法合作生产的协和式超声速客机在飞行高度为 1200m 时, 轰声的持续时间约为 0.25s—0.28s, 峰值超压约 115Pa^[4,6].

下面就按上述轰声的持续时间 0.05s—0.5s 的范围来确定测量设备的频响. 测量持续时间短的轰声, 设备应有更高的频率上限, 而对持续时间长的轰声, 设备则应有更低的频率下限. 因此, 我们以 $T=0.05\text{s}$ 来确定上限, 以 $T=0.5\text{s}$ 来确定下限. 将 $T=0.05\text{s}$ 和 $\theta=200$ 代入无量纲频率表式 $\theta=\omega T/2$, 得上限频率为 1273 Hz. 然后又将 $T=0.5\text{s}$ 和 $\theta=0.25$ 代入无量纲频率表式 $\theta=\omega T/2$, 得下限频率为 0.1591 Hz. 为此我们提出, 测量轰声的声学设备的频响范围为 0.15—1300 Hz. 用此设备测量轰声能量, 其理论偏差小于 1%, 而测量峰值超压, 则小于 3%. 如要测量特殊的轰声, 对设备的性能要求可根据本文所介绍的方法自行计算.

至于超压问题, 上述超压的最大值 480Pa 相当于 147 dB. 一般标称尺寸为 $\phi 12\text{mm}$ 的电容传声器包括了测量轰声用的传声器, 其动态范围上限的最大值为 160 dB, 所以这种传声器能满足轰声测量要求.

4 结论

本文介绍了一种估算测量轰声的频响范围的方法及 N 波的频域和时域特性. 对一般的轰声测量, 设备的频响范围可为 0.15—1300 Hz. 这时测得的能量在理论上偏差小于 1%, 而测量峰值超压的理论偏差小于 3%. 测量持续时间的偏差在理论上可以不计. 对特殊的轰声, 可根据本文的方法以确定对测量设备的特殊要求.

致谢 章汝威同志向我们提供了资料, 并有过多次有益讨论, 谨表示衷心感谢.

参 考 文 献

- [1] 马大猷主编. 声学名词术语, 北京: 海洋出版社, 1984. 14.
- [2] ISO/TC 43, Acoustics—Description and measurement of physical properties of sonic booms, Switzerland, International Organization for Standardization, 1973.
- [3] British Standards Institution, Method of test for Measurement of the physical properties of sonic bangs (BS 5331), British Standards Press, 1976.
- [4] Encyclopedia of Science & Technology, 7th Edition, McGraw-Hill Inc., 1992.
- [5] Karl D. Kryter, The effects of noise on man, 2nd Edition, Academic Press Inc., 1985.
- [6] Frederick A. White, Our acoustic environment, John Wiley & Sons, 1975.

(上接第 39 页)

$25.1 \times 10^6 \text{kgm}^{-2}\text{s}^{-1}$ 范围的背衬块; 用它与 PZT 压电晶片粘接, 能实现 1.5 周期的窄脉冲. 本方法所用设备简单, 背衬材料也是常用的, 而效果比较明显; 作者认为有一定的生产实用价值. 当然, 它还有需进一步改进的地方, 如通过掺杂增强背衬的声吸收, 通过增大压力来提高背衬的阻抗, 增加背衬的长度, 选择更合理的粘接方法和匹配电路来提高探头的灵敏度等等. 作者正致力于这方面的研究.

参 考 文 献

- [1] Low G C, Jones R V *Ultrasonics*, March, 1984, **22** (2): 85—95.
- [2] Less S, Gilmore R S, Krans P R. *IEEE Transactions on Sonics and Ultrasonics* January, 1973. **SU-20** (1): 1—2.
- [3] Rokhlin S, Golan S, Gefen Y. *The Journal of the Acoustical Society of America*, May, 1981, **69** (5): 1505.
- [4] 向 丹、张家骏、崔建英. 无损检测, 1991, **13** (9): 211—215.
- [5] 崔建英. 粗晶材料的超声检测, 清华大学硕士研究论文, 1989, 36—46.