

一种制作高阻抗背衬材料的新方法

吴锦川，蔡恒辉
(汕头超声仪器研究所，汕头 515041)

摘要：文章分析了已有方法制作高阻抗背衬材料的不足，阐述了制作高性能背衬材料的新方法。新的高阻抗背衬材料，声衰减性能优异，材料的结合力高。该材料应用于制作 2.8MHz 窄脉冲探头，带宽达到 120%以上。
关键词：超声检测；宽频带探头；背衬
中图分类号：TB556 文献标识码：A 文章编号：1000-3630(2008)-02-0214-03

New technique for manufacturing high impedance backing composites

WU Jin-chuan, CAI Heng-hui
(Shantou Institute of Ultrasonic Instruments, Shantou 515041, China)

Abstract: The deficiency of the existing high impedance backing composites is pointed out and a new technique for manufacturing high impedance backing composites, which give better acoustic attenuation performance, is illustrated. The immersion probe with new high impedance backing provides a broad band of more than 120%
Key words: ultrasonic testing; broadband probe; backings

1 引 言

用于工业超声检测的超声探头的背衬材料需要有足够的声学衰减性能，以吸收压电陶瓷片背向发射的声波。如果声衰减性能不足，会产生背向杂波影响检测；为提高声束纵向分辨率，需要采用宽频带、窄脉冲超声探头。获得窄脉冲探头最有效的办法就是在压电元件背面附加高阻抗、高衰减的背衬材料，利用其阻尼作用使晶片的谐振过程尽快终止。使用高阻抗背衬，其阻尼作用大，超声探头发射信号的脉冲短、频带宽，分辨率高。材料的声阻抗率的值为材料密度和声速的乘积，公式为 $Z = \rho c$ 。从公式中看出，声阻抗率和材料密度成正比，在声速没有明显变化时，提高重质材料的填充量，即提高材料的密度，就可提高声阻抗率。声阻抗率超过 $10 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ 的背衬可称为高阻抗背衬。一般压电陶瓷的声阻抗率为 $30 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m} \sim 36 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ ，背衬的声阻抗率越接近此值，探头的频谱越宽，分辨

率越高。因而，要制成分辨率高的宽频带超声探头，关键在于获得合适的高阻抗背衬。

2 背衬材料技术背景

一般背衬材料由液态环氧树脂混合钨粉后固化而成。为制作高声阻抗率的重背衬材料，必须设法提高钨粉在环氧中的填充量，制作成高密度的材料。M.G. Grewe 等^[1]给出了不同体积百分比的 5 μm 钨粉/环氧体系的声学性能数据如表 1 所示。
从表 1 可以看出，钨粉的体积百分比从 9.9%提高到 31.9%时，声阻抗率由 $4.7 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ 升到 $10.8 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ ，但此时环氧体系已非常粘稠，体系很难混合均匀。要想继续提高体系的密度是不可能的。

表 1 不同比例钨粉/环氧复合材料背衬的声学性能
Table 1 Acoustic properties of the tungsten-filled epoxy composites

钨粉体积百分比 / %	声阻抗率 /($\times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$)	5 MHz 声衰减系数 /(dB/cm)
9.9 $\pm$ 0.3	4.7 $\pm$ 0.2	69 $\pm$ 12
18.9 $\pm$ 0.7	6.7 $\pm$ 0.3	65 $\pm$ 8
31.9 $\pm$ 0.7	10.8 $\pm$ 0.4	42 $\pm$ 5

收稿日期：2007-04-10；修回日期：2007-08-24
作者简介：吴锦川(1972-)，男，广东人，硕士，高级工程师，研究方向为超声换能器材料及电极技术。
通讯作者：吴锦川，E-mail: jcwu@pub.shantou.gd.cn

为制作更高声阻抗率的背衬, G.C.LOW^[2]等提出用“浸渍法”, 即把钨粉挤压至紧密堆积状态后, 再用混合的环氧树脂浸渍, 整个过程大约需要 140 小时左右。而且材料的性能并不均匀, 要切取材料的下端用于制作背衬。

滕永平^[3]提出了一种改进的“挤压法”, 在容器中加入 1/3 的钨粉, 再加入 1/3 的混合环氧树脂和钨粉, 再加入剩下的 1/3 的钨粉, 然后施加压力把钨粉堆积紧密, 把多余的环氧挤压出来。这样制作的高阻抗背衬材料, 声衰减很小, 文中列出的声衰减系数只有 13dB/cm~21dB/cm。赵雁等^[4]对“挤压法”背衬进行了改进, 增加了背衬厚度和在背面加工了 V 形槽, 以避免声衰减不足造成杂波干扰。

以上的制作方法虽然可以做出高阻抗背衬, 但是随着钨粉在环氧体系中比例的增加, 声衰减性能呈下降的趋势, 对此牛凤歧、H.Wang 有过深入的研究。H.Wang 等^[5]研究表明, 随着钨粉的体积百分比的不断增加, 材料的密度单调上升, 声阻抗率也随着上升; 但其声衰减系数则呈现不同的特性, 随着钨粉的体积百分比的增加, 声衰减系数先上升, 在钨粉的体积百分比为 8% 时声衰减系数达到峰值。钨粉的体积百分比继续上升时, 声衰减系数呈下降的趋势。当钨粉体积比达到 25% 以上时, 声衰减降到 30dB/cm 以下, 已影响背衬的吸声效果。以上制作高阻抗背衬的方法, 材料的声衰减性能差, 无法达到实用的要求。

为提高背衬材料的声衰减指标, Casmir R. Trzaskos 等^[6]采用钨粉和软质聚氯乙烯粉末, 经热压成型方法压制背衬材料。为获得最大的声衰减, 保持压力直至软质 PVC 材料凝固冷却。释放压力后, 由于软质 PVC 的弹性, 背衬材料会略为膨胀, 可以获得较高的声衰减性能。但是, 由于很难把钨粉和软质 PVC 粉混合到微观上均匀一致, 当钨粉的比例很高, PVC 的量很少时, 由于体系不均匀, 缺乏 PVC 的部分就无法热塑成型, 材料结合力差。材料的不均匀也影响到软质 PVC 与钨粉界面的震动弛豫和吸声的效果, 引起声衰减性能下降。Casmir R. Trzaskos 等在文中提到的钨粉和 PVC 粉的体积比是 55:45, 这种方法只能做到声阻抗率为 $12 \times 10^6 \text{Pa} \cdot \text{s/m}$ 左右的背衬材料。进一步提高钨粉的比例, 材料的结合力差; 由于体系的不均匀, 声衰减性能也会下降。

3 背衬材料制作新方法

针对原有高阻抗背衬材料存在的不足, 我们采用一种新的方法制作背衬材料, 使得新材料同时具

有高声阻抗率、高声衰减的性能。为克服以往高阻抗材料的声衰减性能低的不足, 我们采用衰减性能更佳的热塑性聚氨酯弹性体树脂和钨粉体系; 为解决高比例的钨粉填充聚氨酯不均匀引起的材料结合力差、衰减性能下降等问题, 则采用沉积的方法, 即把聚氨酯颗粒溶解于有机试剂中, 再加入钨粉搅拌, 然后不断蒸发掉有机溶剂, 把聚氨酯均匀沉积于钨粉颗粒上。为使材料的密度和声阻抗率更高, 沉积制得的热塑性聚氨酯/钨粉复合颗粒通过热压成型的方法制成复合材料。制作线路简单叙述如下:

(a) 将占背衬材料总体积的 30% 左右的热塑性聚氨酯树脂投入于 200ml 四氢呋喃有机溶剂中; 置于 40 的烘箱中放置过夜, 使聚氨酯完全溶解于四氢呋喃中;

(b) 把占背衬材料总体积的 70% 左右的粒度 5 μm 钨粉投入四氢呋喃溶液中, 充分搅拌混合溶液至呈粘稠胶体溶液。再把盛装有胶体溶液的搪瓷杯置于 60 ~80 的热板上加热并搅拌, 由于四氢呋喃的沸点只有 66 , 所以此时四氢呋喃蒸发速度快, 当完全挥发后, 溶液中的聚氨酯均匀地沉积并固化在每颗钨粉颗粒表面上, 形成包裹聚氨酯膜层的钨粉复合颗粒。烘干颗粒并过筛。

(c) 称取适量复合颗粒将其装入的背衬模具中, 在热压成型油压机上成型, 温度保持在热塑性聚氨酯的玻璃化温度 110 , 施加 2MPa~4MPa 的压力约 20s 的时间。保持压力并让模具自然冷却到室温(约需 1h), 然后把成型的材料退出模具, 即获得所需要的背衬材料。

4 材料的声学性能分析和讨论

对不同钨粉体积比例的样品测试声速和声衰减系数, 采用水中连续波透射插入取代法^[7], 结果样品的声学性能如下:

从表 2 可以看出, 不同钨粉体积比的背衬材料样品的声速变化不大, 在 $1.8 \times 10^3 \text{m/s}$ 左右, 略低于纯聚氨酯的声速。随着钨粉所占体积比例的增大, 材料的密度增大, 声阻抗率也提高。材料的密度除了跟材料配比有关, 也与热压成型所加压力有关, 压力大材料的密度更高。但注意当钨粉所占体积比较小时, 不能施加太高的压力, 否则会引起材料分层、退模困难等问题。

此方法制作的背衬材料相对于其他方法制得的高阻抗材料, 声衰减性能有了明显的增强, 达到 70dB/cm 以上, 而且材料的结合力佳。由于采用沉积法来充分利用加入的有机溶剂的稀释和分散的作

表 2 不同比例钨粉/聚氨酯复合材料背衬的声学性能
Table 2 Acoustic properties of the tungsten-filled polyurethane composites

钨粉体积百分比/%	密度/(g/cm ³)	声速/(×10 ³ m/s)	声阻抗率/(×10 ⁶ Pa·s/m)	5MHz 声衰减系数(dB/cm)
80	13.6	1.81	24.6	70.5
71.6	9.78	1.85	18.1	75.4
60	8.43	1.91	16.1	90.3

用,使树脂在背衬中的体积含量低至 5%也能浸润和均匀分散沉积在各个钨粉颗粒的表面上,钨粉与树脂之间分布均匀,保证热压成型后背衬材料内部各个钨粉颗粒之间的结合力足够强,从而大大减少树脂的用量,有效提高钨粉的体积百分比,使钨粉的体积百分比由原来最高的 50%左右提高到 80%以上,明显提高了背衬材料的密度,声阻抗率由 $10\times 10^6\text{Pa}\cdot\text{s/m}$ 左右提高到 $24\times 10^6\text{Pa}\cdot\text{s/m}$ 。另外,由于树脂浸润和均匀分散沉积在各个钨粉颗粒的表面上,使得声波在树脂和钨粉界面上传播时的震动弛豫和吸声的效应得到充分发挥,这也保证了高阻抗材料的声衰减性能,在 5MHz 时的声衰减系数提高到 70dB/cm,使利用该背衬材料制成的超声探头的背向杂波微弱,不会干扰正常的检测信号。

5 新背衬材料的应用检验

把以上制得的钨粉体积百分比 71.6%的背衬材料应用于制作中心频率为 2.8MHz 的水浸探头中。采用偏铌酸铅压电陶瓷片,背衬和陶瓷片之间用环氧树脂黏结,采用夹具控制黏结层的厚度和均匀性。

在 SIUI-UTS 超声性能测试系统测试水浸探头的声学性能,探头的声电性能指标见表 3:

表 3 水浸探头的脉冲回波指标
Table 3 Performance of the immersion probe

- 20dB 脉冲宽度/ns	P- P 灵敏度 /dB	- 6dB 中心频率/MHz	- 6dB 带宽 /%
771.2	- 51.48	2.78	122.42

探头的脉冲频谱图分别见图 1 所示。
从结果可以看出,使用高声阻抗率,高声衰减背衬,探头获得了极佳的窄脉冲、宽频带性能,其带宽超过 120%, - 20dB 脉冲宽度只有 771.2ns,探测时探头的纵向分辨率得到明显提高。

6 结 论

通过采用以上新的背衬制作工艺,有效解决了以往背衬材料声阻抗率越高,材料的声衰减性能越

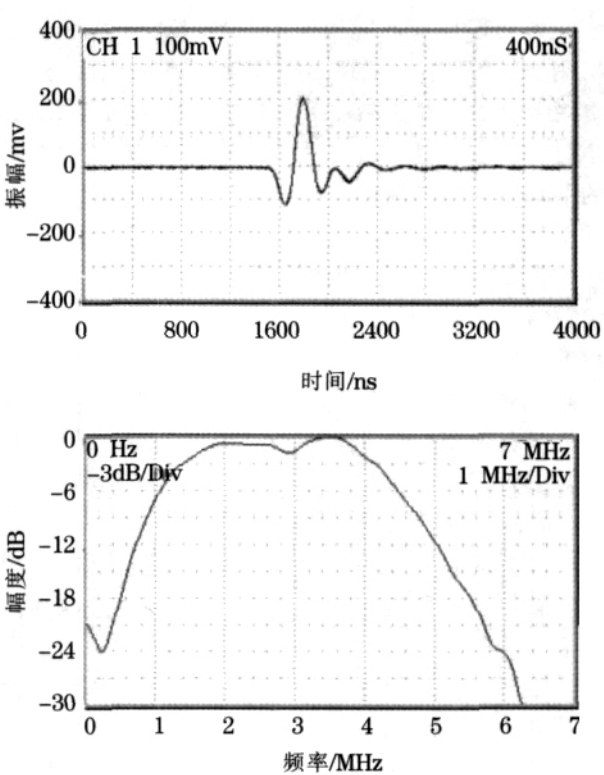


图 1 水浸探头的脉冲和频谱图
Fig.1 Echo signal and its frequency spectrum of the immersion probe

差、材料的结合力越差的矛盾,该方法是一种具有实用价值的背衬制作方法。

参 考 文 献

[1] Grewe M G, Gururaja T R. Acoustic properties of particle/polymer composites for transducer backing applications[J]. IEEE Transactions on Ultrasonics Ferroelectrics and Frequency Control(S0885-3010), 1990, 37: 506-513.

[2] LOW G C, JONES R V. Design and construction of short pulse ultrasonic probes for non-destructive testing[J]. ULTRASONICS(S0041-624X), 1984, 18: 85-95.

[3] 滕永平. 超声检测用窄脉冲探头高阻抗背衬的研制[J]. 应用声学, 1995, 14(6): 37-39.

TENG Yongping. Development of high impedance backing composites for broad-band ultrasonic transducers[J]. Applied Acoustic, 1995, 14(6): 37-39.

[4] 赵雁, 滕永平. 水浸宽带聚焦超声探头的研制[J]. 北方交通大学学报, 2001, 25(6): 42-44.

ZHAO Yang, TENG Yongping. Development of focusing broadband immersion probe[J]. Journal of Northern Jiaotong University, 2001, 25(6): 42-44.

[5] WANG Haifeng, Tim Ritter, CAO Wenwu, K, Kirk Shung. Passive materials for high frequency ultrasound transducers [J]. Proceedings of the SPIE Medical Imaging, Ultrasonic Transducer Engineering(S0277-786X), 1999, 3664: 35-42.

[6] Casimir R. Trzaskos, Amsterdam. Ultrasonic transducer and process to obtain high acoustic attenuation in the Backing[P]. USA Patent: 4382201, 1983.

[7] 冯若. 超声诊断设备原理与设计[M]. 北京: 中国医药科技出版社, 1993. 105-107.

FENG Ruo. Theory and design of ultrasonic diagnosis instruments[M]. Beijing: China medicament Technology Publishing Company, 1993. 105-107.