

新颖的低超声衰减的非晶态合金

王瑾科 王敏

(上海有线电厂研究所)

非晶态合金又称无定形金属或金属玻璃,是一种七十年代后期迅速发展起来的新材料。它是由液态金属经极急剧冷却(冷却速度达 10^5 — 10^6 °C/秒)而成,由于冷却速度极快,因而金属不能及时结晶而成为非结晶态合金。与一般结晶态合金相比,非晶态合金没有普通晶态合金那样的晶格缺陷,没有晶界、位错、积层等现象,其化学成分均匀性也最高。因而,这种合金在机械、电气、磁性及耐腐蚀性等方面,都具有一些特异的优良性能。目前,对非晶态合金的理论研究、制造技术及应用等方面都非常活跃,国内在最近几年也有好些研究单位开展这方面的研究工作,并取得了一些可喜的成果。

非晶态合金按其使用功能可分为磁性功能材料及特殊功能材料两大类。特殊功能材料有:低膨胀材料、恒弹性材料(包括延迟线材料)、耐腐蚀材料、吸振材料、高磁致伸缩材料、传感器材料、超高强度材料及精密电阻材料等。本文仅对作为超声延迟材料的恒弹性合金作一简单介绍。

非晶态恒弹性合金不仅具有优秀的恒弹性质,而且具有优良的超声延迟特性,有接近于零的延迟时间温度系数,以及极小的超声衰减特性。

众所周知,延迟时间温度系数 $t = -\frac{1}{\alpha + e}$,式中: α 为延迟介质的热膨胀系数, e 为延迟介质的弹性模量温度系数。对于一般金属与合金, $\alpha \approx 10^{-5}/^\circ\text{C}$, $e \approx 10^{-4}/^\circ\text{C}$ 。所以, t 值主要是由 e 值决定。因此,一般都用 e 值小的艾林瓦合金作延迟线介质材料。另外,我们知道,

由多晶合金构成的延迟媒质的附加损耗主要是由晶粒尺寸和声波波长决定的,例如,平面波在无限长多晶媒质中的衰减作为频率的函数,可以用下式表示:

$$a = bf + cf^4$$

式中

a ——衰减系数(分贝/厘米);

b 和 c ——常数。

第一项 bf 表示滞后损耗,第二项 cf^4 与材料的晶粒结构有关。频率高于几兆赫时,对于大多数材料都是第二项起决定作用^[1],或者用超声波波长 λ 和晶粒平均直径 \bar{D} 大小的关系来描述衰减。当波长 $\lambda > 2\pi\bar{D}$ 时,衰减 a 与 f^4 成正比,当 $\lambda < 2\pi\bar{D}$ 时, a 与 f^2 成正比^[2]。总之,晶界的存在是造成衰减的重要原因。然而,非晶合金根本没有晶粒,也就没有晶界,因此在这种合金中显示出独特的优点。非晶延迟合金大致可分为以下两类:

1. 延迟时间温度系数极小的非晶合金

这以 $\text{Fe}-\text{B}$ ^[3](铁-硼)系、 $\text{Fe}-\text{Si}-\text{B}$ ^[4](铁-硅-硼)系及 $\text{Fe}-\text{Cr}-\text{B}$ ^[5](铁-铬-硼)系为主。 $\text{Fe}-\text{B}$ 系合金不仅具有低膨胀特性(膨胀系数 $\alpha < 1 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$),而且可以通过热处理工艺的调整来获得弹性模量温度系数 e 接近于零的恒弹特性。因此,这类合金的延迟时间温度系数也接近于零。

$\text{Fe}-\text{Si}-\text{B}$ 系合金如 $\text{Fe}_{0.77}\text{Si}_{0.10}\text{B}_{0.13}$ 的延迟时间温度系数也较小,约为 $3-4 \times 10^{-6}/^\circ\text{C}$ 。

$\text{Fe}-\text{Cr}-\text{B}$ 系是在 $\text{Fe}-\text{B}$ 系中加入 Cr 以提高耐腐蚀性,如 $\text{Fe}_{0.765}\text{Cr}_{0.085}\text{B}_{0.15}$ 的弹性模量温

度系数 $e \approx 0$, 延迟时间温度系数也极小。

2. 超声衰减极小的非晶合金

1) Fe-Cr-C⁶系。这类合金有明显优良的超声延迟特性, 有接近于熔石英的超声衰减性能。

表 1 Fe-Cr-C 非晶合金的超声衰减特性

合 金	衰减系数(分贝/厘米)
Fe _{0.72} Cr _{0.12} C _{0.16} 非晶合金	0.08
熔 石 英	0.06
Fe-Ni 系 Elinvar 合金	10

2) Pd-Si⁷ (钯-硅)系无磁性非晶态恒弹性合金。这类合金不仅具有恒弹特性, 而且有非常小的超声衰减特性, 是一种理想的、非常有前途的高频超声延迟线材料, 而且在工艺上不需要特别快的冷却, 只需在水中淬火就能得到非晶态合金。美国贝尔电话实验室在真空条件下, 用高频感应加热办法把要放在熔石英毛细管中的金属熔化, 然后快速于水中冷却, 制得

了直径为 1—2.5 毫米的棒状试样, 用 Y-36⁰ 切及 X-切的 LiNO₃ 及溅射 ZnO 薄膜作换能器, 测得了非常明显的低衰减特性。在 100 兆赫下,

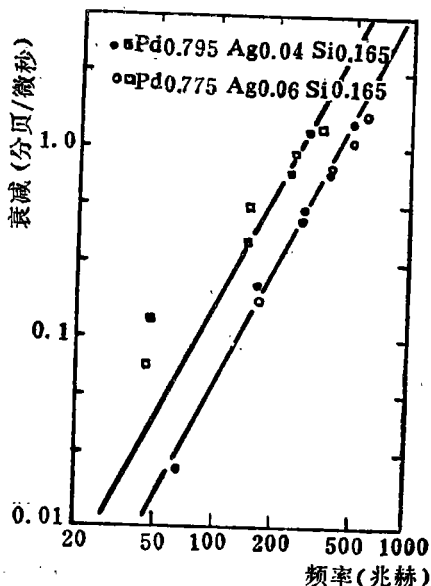


图 1 Pd-Si-Ag 合金室温下衰减与频率的关系

表 2 Pd-Si 非晶合金在 100 兆赫下超声衰减及室温下声速

合 金 成 分	纵波衰减系数	切变波衰减系数	纵波声速	切变波声速
	α_L (分贝/微秒)	α_S (分贝/微秒)	V_L (10^5 厘米/秒)	V_S (10^5 厘米/秒)
Pd _{0.745} Ag _{0.04} Si _{0.165}	0.06	0.15	4.42	1.70
Pd _{0.775} Ag _{0.06} Si _{0.165}	0.06	0.15	4.43	1.70
Pd _{0.775} Cu _{0.06} Si _{0.165}	0.40	0.40	4.48	1.74
Pd _{0.775} Ni _{0.06} Ni _{0.165}	0.60	0.60	4.52	1.75
熔 石 英	0.065	0.06	5.99	3.77

表 3 几种材料的声衰减特性

材 料 种 类	方 式	延 迟 线	声 速 (10^5 厘米/秒)	衰减, 在 1 兆赫下 (分贝/毫秒)	延迟 1 毫秒和衰减为 10 分贝时的最高频率 (兆赫)
Pd-Si-Ag 非晶合金	纵 向	体积延迟线	4.42	0.005	45
熔 凝 石 英	纵 向	体积延迟线	6.20	0.006	40
Pd-Si-Ag 非晶合金	切 向	带状延迟线	1.70	0.010	33
多晶铝 合 金	切 向	带状延迟线	3.10	0.200	7
Pd-Si-Ag 非晶合金	扭 转	丝状延迟线	1.70	0.010	33
多晶 Fe-Ni 合 金	扭 转	丝状延迟线	3.00	2.000	2

注: 在多晶材料中衰减按 f^4 变化, 在非晶态合金中衰减按 f^2 变化。

(下转第 46 页)

9) 诊断记录和数据记录,如增益、日期、姓名、脏器名称、编号等;

10) 面积计算;

11) 三维立体显示,容积计算。

这些显示项目对诊断、记录、整理病史,都带来很多方便,特别是正在研究的三维显示将能复现出脏器和组织本来的三维结构,这对形状的认识以及肿瘤的浸润程度的观察是很有效的,并可大致推定容积。

5. 记录和计测

目前,超声图象记录主要以照相为主,最近已直接与电视摄像机相接,以进行摄像、录象;也可经数字扫描变换器后直接送入录象。

对显示的图象进行计测也是很重要的,如距离、面积、周长、体积等,可以通过电子尺、光笔、立体显示加以计测。但应该指出,图象计测因各组织引起的声速变化、声束的屈折及虚象所产生的误差,皆应予以考虑,所以,今后必须深入研究各组织的声学特性,来纠正这些误差

原因。

6. 生物组织与图象的对照和组织的特征

超声诊断已发展到研究组织的特征,但这需要各方面专家和研究人员进行大量的严格实验和分析才能获得进展,同时还要确定标准测定条件和实验装置的标准化。这是超声诊断法研究的一个重要目标,可望八十年代获得重大进展。

参 考 文 献

- [1] 周永昌:“超声医学进展”,国外声学(中科院声学所出版),第三期 1981.
- [2] Tanabe K., Sato Y., Nakagawa K., Ogawa T., "Ultrasonic System Combining an Electronic Sector Scanner and a Pulsed Doppler Flow Meter", Abstract of 2nd Meeting of WFUMB, 1979, P 379.
- [3] Ohmoris S., Tsuda M., Hirakawa S., Matsunaka T., Hayakawa T., "A Multi-Purpose Real Time Ultrasound Imaging System with Dynamic Architecture", Abstract of 2nd Meeting of WFUMB, 1979, P 380.

(下传第 47 页)

上接第 42 页

纵波的衰减值约等于熔石英的衰减值。这是迄今为止所发现的金属介质中最好的超声衰减特性,也是唯一的一种可与熔石英低超声衰减相比拟的金属合金材料。在图 1 及表 2、3 列出了 Pd-Si 系非晶合金的超声特性。

由此看出, Pd-Si 系非晶合金具有特别小的超声衰减特性。在 100 兆赫时纵波的衰减与熔石英的衰减相当,在 40 兆赫时衰减比熔石英还小,并大大优于多晶 Al-Mg 合金及 Fe-Ni 恒弹合金。因此,这是一种非常有发展前途的超声延迟材料,并已引起了人们的广泛兴趣。这类合金由于只需在水中淬火就可得到非晶合金,并可以制成直径 1—2.5 毫米丝状或厚度达 0.2 毫米的带状导体,因而,很适用于各种类型的超声器件中。

非晶态合金的前景是十分诱人的,其中 Pd-Si 系性能最为优越,但缺点是需用较多量贵金属钯,成本较高。非 Pd-Si 系合金目前还

存在一些不足之处,还只能制造厚度小于 0.05 毫米的薄带,目前想要得到较厚的合金还有困难。这给延迟线与换能器的焊接带来困难。而且合金带表面质量较差,起伏不平度较大,这对声波传播是不利的。但随着制造工艺技术的改进,如采用双辊法,已能制得表面质量很光滑的 Pd-Si 系非晶合金,比之单辊法制得的有非常明显的改善。相信不久的将来,一种崭新的超声延迟器件一定会得到实用。

参 考 文 献

- [1] Allied Chem. Co:《美国专利》, 1976. 10. 13, No. 1452, 541.
- [2] 深道和明:《金属》, 1978, V. 48, No. 1, P33~37.
- [3] 日本公开特许, 78-147604.
- [4] 《Sci. Reports Res. Inst. Tokyo Univ.》, 1977, A26, No. 4—6, P232—239.
- [5] 《日本金属学会讲演概要》, 1978. 82th (101).
- [6] 日本公开特许, 79—103730.
- [7] Appl. Phys. Lett. 23, 1973, P 359.
- [8] 唐与诺:《国外金属材料》, 1978. 5.