

超声波声速测量技术及其在材料评价中的应用

Ultrasonic Velocity Measuring Technology and its Application in Materials Evaluation

何方成 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

宫兆斌 (中国北方航空公司飞机维修基地, 沈阳 110169)

HE Fang-cheng (Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

GONG Zhao-bin

(China Northern Airline Maintenance and Overhaul Base, Shenyang 110169, China)

摘要: 介绍两种测量声速的方法, 阐述这两种方法的原理和区别, 并列举了利用声速评价材料性能的实例。

关键词: 超声声速; 无损评价

中图分类号: TB331 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2003) 08-0033-02

Abstract: Two ultrasonic velocity measuring methods were introduced, the principle and difference between the two methods were expatiated. Some examples of ultrasonic velocity measuring technology in material evaluation were given.

Key words: ultrasonic velocity ; non-destructive evaluation (NDE)

目前, 无损检测已经广泛应用于航空、航天、核工业及石化等重要行业的质量控制之中。随着技术的不断发展, 在某些领域已经由无损检测向无损评价方向发展, 尤其随着计算机技术的提高, 对无损评价技术有很大的促进作用。如利用声成像技术来评价缺陷、密度、孔隙率等的分布情况, 应用频谱分析、小波分析、神经网络等信号处理技术对缺陷信号进行模式识别。其中利用测量声波传播中的某些特征来表征材料的特性也是无损评价技术发展的方向之一。

本文介绍的无损评价方法是利用测量声速来表征材料的特性, 叙述了两种声速测量方法的测量原理, 对比了两种方法的优缺点, 并列举了一些应用实例。

1 原理

材料声速与其特性存在一定的对应关系, 由公式 (1) 可知, 材料的纵波声速与其杨氏模量、密度、泊松比有关。因此测量材料的声速可以评价材料的特性, 通过测量材料声速的分布图可以评价材料特性的分布情况。

$$V = \frac{E(1-\sigma)}{\rho(1+\sigma)(1-2\sigma)} \quad (1)$$

式中: V 为纵波声速; E 为杨氏模量; ρ 为密度; σ 为泊松比。

下面介绍两种常用的声速测量方法的原理。

其一是通过测定试样的厚度与声波在通过该厚度时的传播时间, 然后利用公式 (2) 进行计算。一般利用超声探伤仪和探头作为超声发射与接收装置, 将探头固定耦合在试样上某一点, 再将超声探伤仪的波形输入示波器, 测量一次底面反射与二次底面反射之间的传播时间。

$$V = 2d / 2t \quad (2)$$

式中: V 为纵波声速; d 为试样厚度; $2t$ 为声波在试样厚度方向一次往返的传播时间。

第二种测量声速的方法是利用在水槽中的试样下面放置声反射板 (如图 1)^[4], 利用测量声波在反射板与探头之间的反射时间以及水的声速来确定试样的声速。通过计算推导, 可得到公式 (3)^[4], 由公式 (3) 可见, 被测材料的声速只与水的声速、放置试样前后声反射板界面反射时间差及试样第一次底面与第二次底面反射时间差三个值有关, 与试样的厚度无关, 因此称这种方法为与厚度无关反射板测速法, 即 TIRP 法 (the thickness independent reflector plate)。

$$V = c(\Delta t / 2\tau + 1) \quad (3)$$

式中: V 为材料纵波声速; c 为水的声速; Δt 为放置试样前后声反射板界面反射时间差; 2τ 为试样第一次底面与第二次底面反射时间差。

2 两种声速测量方法的比较

由于第一种方法是利用试样的已知厚度除以传

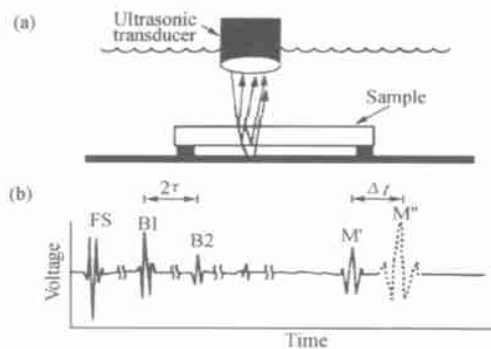


图1 TIRP法声速测量原理图

(a) TIRP法声速测量示意图; (b) 声波的传播时间示意图

Fig. 1 Ultrasonic pulse-echo immersion testing

(a) schematic of TIRP velocity imaging testing;

(b) waveforms of concern for TIRP velocity imaging

播时间来获得声速, 因此这方法测量声速的精度依赖于厚度的准确性, 因此称为基于厚度测速法。这种方法的特点是简单, 容易实现, 但测量误差较大, 只适用于厚度误差极小的试样, 因此有很大的应用局限性。这种方法比较常见于逐点测量声速。

第二种方法 (即 TIRP 法) 从原理上分析, 其声速测量结果与试样厚度无关, 测量精确性取决于水的声速、放置试样前后声反射板界面反射时间差及试样第一次底面与第二次底面反射时间差三个值的测量精度, 因此具有较广泛的应用前景。TIRP 法的特点是对测量设备要求高, 对耦合的水温控制严格, 测量精度高, 适于工程声速 C-扫描应用。

为了对比两种声速测量方法结果的区别, J. Roth^[1]用两种方法在同一种花瓣形陶瓷试样上得到声速 C-扫描图 (如图 2), 图 2 a 为第一种方法得到的 C-扫描图, 图 2 b 为 TIRP 法得到的 C-扫描图。对比可见, TIRP 法得到的 C-扫描图可以看出花瓣形, 第一种方法得到的 C-扫描图却看不出花瓣形, 即 TIRP 法对声速变化的分辨能力高, 这是试样厚度不均引起声速测量结果的误差, 这种误差直接影响测量图象的质量。

3 应用

3.1 第一种声速测量方法的应用

目前第一种声速测量方法普遍应用于确定材料声速, 选择有代表性的各点, 通过测量该点的厚度和声传播时间, 即可计算出该点的声速。有些材料, 由于热处理制度的差异造成材料密度的差异, 通过测量材料的声速就可以监测热处理制度的执行情况, 如温度的高低、保温时间的长短。另外, 在薄板兰姆波检测中, 画出相速度和群速度曲线的前提是获得板材中

纵波声速和横波声速, 第一种测量方法适于这些声速的测量。

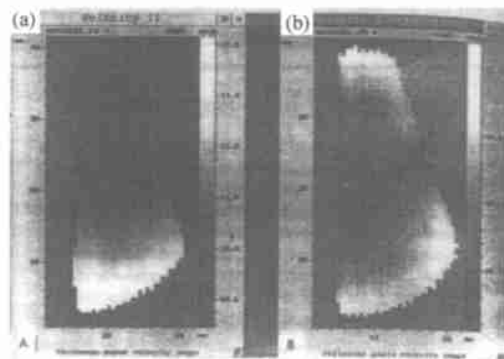


图2 同一种陶瓷试样上用两种方法得到的声速 C-扫描图

(a) 基于厚度测速法; (b) TIRP 法

Fig. 2 Velocity maps using two methods

(a) thickness based ; (b) TIRP

结合超声 C-扫描成像技术, 用声速值的大小做为显示图象的量值, 可以做出同一厚度不同声速值材料的 C-扫描图象, 但这种方法声速值的测量是通过测定试样的厚度与声波在通过该厚度时的传播时间, 然后用两者之比来进行计算得到的, 声速测量精度依赖于厚度的准确性。图 3 为在相同厚度的粉末材料上做出的声速 C-扫描图^[5], 图上的不同灰度代表不同的声速值, 反映了材料中孔隙率的变化引起的声速差异。

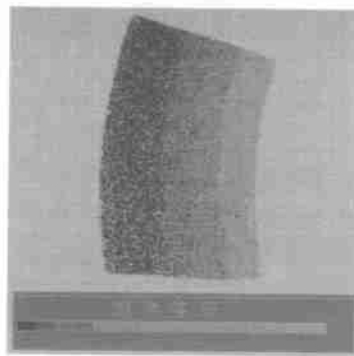


图3 粉末试样的声速 C-扫描图

Fig. 3 Velocity maps for farina alloy sample

3.2 TIRP 法声速测量的应用

国外将 TIRP 法上应用于陶瓷基和金属基复合材料等的无损评价, 例如 NASA 研究中心用于研究测量陶瓷的密度分布^[1], R. Generazio 利用 TIRP 法测量 SiC 陶瓷声速与密度的对应关系来反映其烧结过程中孔隙率的变化情况^[2], 另外 TIRP 法也可用于评价聚乙烯的密度分布^[3]。

(下转第 32 页)

Syst and Struct, 1996, 7: 108– 118.

- [7] Wei Z G, Sandstrom R, Miyazaki S. Shape memory materials and hybrid composites for smart systems. Part II: Shape-memory hybrid composites [J]. Journal of Materials Science, 1998, 33 (15): 3763– 3783.
- [8] Song Guquan, Sun Qingping, Cherkaoui M. Role of microstructure in the thermomechanical behavior of SMA composites [J]. Transactions of the ASME, 1999, 121 (1): 86– 92.
- [9] Bo Z, Lagoudas D C. Thermomechanical modeling of polycrystalline SMAs under cyclic loading. Part I: Theoretical Derivations [J]. International Journal of Engineering Science, 1999, 37 (9): 1089– 1140.
- [10] Birman V. Review of mechanics of shape memory alloy structures [J]. Applied Mechanics Review, 1997, 50 (11): 629– 645.
- [11] Yasubumi Furuya. Design and material evaluation of shape memory composites [J]. Journal of Intelligent Material Systems and Structures, 1996, 7: 71.

- [12] Airoidi G, Pozzi M. Electrical Transport Properties of Shape Memory Alloys under a Stress State [J]. Journal of Engineering Materials and Technology, Transactions of the ASME, 1999, 121 (1): 108– 111.
- [13] Carvalho M, Pu Z J, Wu K H. Variation of electrical resistance and the elastic modulus of shape alloys under different loading and temperature conditions [J]. J of Intell Mater Syst and Struct, 1995, 6 (7): 557– 565.
- [14] 胡自力. 含损伤 SMA 增强智能复合材料的性能表征与损伤分析 [D]. 南京航空航天大学博士学位论文, 2003.

基金项目: 航空科学基金 (01G52041); 国家自然科学基金 (10072026) 资助项目

收稿日期: 2003-01-15; 修订日期: 2003-05-28

作者简介: 胡自力 (1964-), 男, 副研究员, 目前从事智能材料结构和飞机结构强度研究工作, 联系地址: 江苏省南京航空航天大学 1012 信箱 (210016)。

(上接第 9 页)

3 结论

(1) 在本实验条件下, 渗层的相组成为 (Zr , Fe, Cr) C; 过渡区为由 Cr 在 Fe 中的 α 固溶体、 Cr_7C_3 和 Fe_3C 组成的共析体。

(2) ZrC 渗层使工模具钢的表面硬度、耐磨和耐腐蚀性能显著提高。

(3) 为充分发挥材料的性能潜力, 不仅需要合理选择材料, 还必须选择合理的处理工艺。这为充分发挥材料的性能潜力提供了重要思路。

(4) 就本文实验材料而言, 制备 ZrC 保护层的合理工艺为 1273 ~ 1323K、保温 2 ~ 6h。

参考文献

- [1] Г В Самсонов, А П Эпик. Тугоплавкие покрытия [М]. Изд 2-е. Москва: Металлургия, 1973. 132–152.
- [2] А Н Миняев и др. Станки и инструменты [J]. 1972, (8): 41–44.
- [3] А Н Миняев, В кн Труды Московского института инженеров железнодорожного транспорта [С]. Москва: Высшая школа, 1975: 68– 78.
- [4] В Ф Лоскутов, В Г Хижняк и др. Диффузионные карбидные покрытия [М]. Киев: Техника, 1991. 30– 35.
- [5] С С Горелик и др. Рентгеновский и электрооптический анализ [М]. Приложения, Москва: Металлургия, 1970. 4.
- [6] Г В Самсонов, Г Ш Упадхья и др. Физическое материаловедение карбидов [М]. Киев: Наукова думка, 1974. 119– 184.

(上接第 34 页)

由于不受厚度限制, 测量精度高, 测量范围大, TIRP 法不仅可以同时在不同厚度试样上测量声速, 结合超声 C-扫描成像技术, 也可做出高质量的声速 C-扫描图。对比第一种测量方法而言, 在测量误差及应用范围等方面, TIRP 法有很大的优势。

4 结束语

第一种声速测量方法 (基于厚度测速法) 简单容易实现, 但测量误差较大, 有很大的应用局限性。第二种方法 (即 TIRP 法) 对测量设备要求高, 对耦合水温控制严格, 其优点是测量结果与试样厚度无关, 测量精度高, 适于工程超声声速 C-扫描成像技术。

参考文献

- [1] Don J Roth, J Lynne. Commercial Implementation of NASA-Developed Ultrasonic Imaging Methods via Technology Transfer [J]. Materials Evaluation, 1996, (11): 1305– 1309.
- [2] Edward R Genierazio, Don I Roth. Ultrasonic Imaging of Porosity Variations Produced during Sintering [J]. Journal of the American Ceramic Society, 1989, 72: 1282– 1285.
- [3] L PICHE. Ultrasonic velocity measurement for the determination of density in polyethylene [J]. Polymer Engineering and Science, 1984, 24: 1354– 1358.
- [4] D J Roth. Eliminating the Effect of Plate Thickness Variation in Ultrasonic Images Using a Single Transducer Method [J]. SPIE, 1996, 2944: 76– 85.

收稿日期: 2002-07-26; 修订日期: 2003-06-06

作者简介: 何方成 (1971-), 男, 工程师, 现从事无损检测研究工作, 联系地址: 北京 81 信箱 6 分箱 (100095)。

基金项目: 教育部国家留学基金 (98)

作者简介: 刘志国 (1964-), 男, 获莫斯科钢铁学院物理化学系理学博士学位, 副教授, 主要从事材料表面强化的研究, 已发表论文近 20 篇, 联系地址: 北京市昌平区石油大学机电学院赵金龙转 (102249)。