

承载条件下材料声学显微结构偏转特征分析^①

孙康宁 张景德 刘援朝 王 昕 尹衍升

(山东工业大学材料科学与工程学院, 济南 250061)

Maslove K I 张送根^②

(俄罗斯科学院)

摘 要 对各种材料在承受不同压力作用下所呈现出来的不同声学显微结构进行了分析、比较, 研究发现: 不仅声速随承受载荷变化而变化, 且声学显微组织也随承受载荷而变化。这种在弹性变形下表现出来的内部结构畸变, 表现了材料一种新的声学性能。

关键词 材料 声学显微镜 显微结构 偏转特征

在材料研究中, 声学扫描显微镜与光学显微镜一样, 能够提供有效的、定量和定性的信息, 所不同的只是光波与声波物理性能的差异以及它们与物体间相互作用的不同。光学常数的相对值与绝对值以及试样的外形能够用光波记录下来, 同样, 声波也可以揭示材料的弹性和相应的试样外形, 而且还可以穿入不透明的物体, 这为材料研究提供了一种非常重要的手段。德国、俄国等国家已在该领域做了一些有益的工作^[1], 但是研究材料在承载情况下所表现出的声学特征尚不多见, 本文拟在该领域做进一步探讨。

1 实验方法

1.1 声学显微结构测量

本实验采用机械式 SAM 扫描声学显微镜, 声学镜头工作频率分别为 25、50 MHz。试样材料为: 金属铝合金试样、陶瓷试样(采用热压烧结 SG4 陶瓷刀具材料)、有机玻璃试样(透明材料), 上述试样尺寸均为 16 mm × 16 mm × 2 mm, 加载装置见图 1。图 2 为整个实验方法示意图^[2], 测量时保持测深不变。

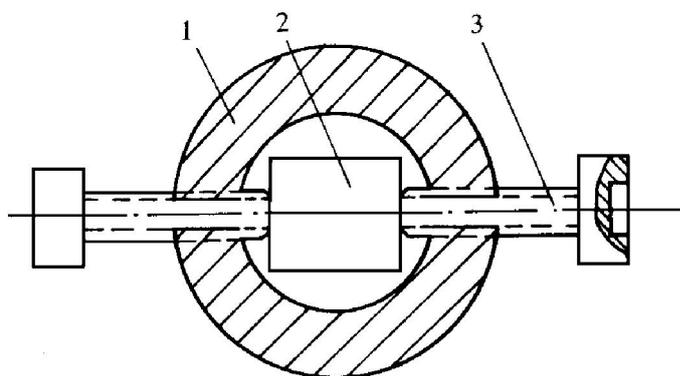


图 1 加载装置示意图

1—夹紧钢盘; 2—螺杆; 3—试样

1.2 声速测量

试样为铝合金、热压 SG4 陶瓷、有机玻璃。分别对不同试样在不同承载情况下进行了声速测量。其中对铝合金试样承载下进行布点声速测量, 布点方式见图 3(均布)。

2 实验结果

2.1 声学显微结构

图 4 为有机玻璃试样承受不同压力下测得的皮下显微结构, 其中图 4(a) 为不受力时测得的声学显微结构, 为便于比较, 表示声变化的坐标原点建立在试样人为所刻三角箭头处。此

① 收稿日期: 1996-04-17; 修回日期: 1996-08-12

② 俄罗斯科学院中国留学生

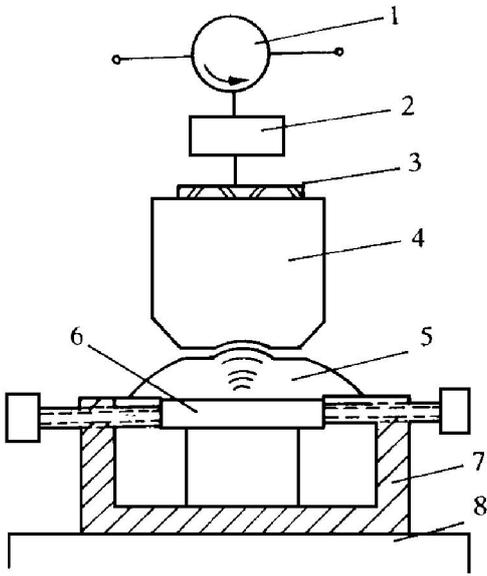


图2 实验方法原理图

1—环流器；2—匹配网络；3—换能器；4—声透镜
5—藕合介质；6—试样；7—加载装置；8—试样

时所测条纹与纵轴夹角约左倾 30°。图 4(b) 为加载较小时测得的显微结构，其带状条纹倾斜变化不大，但沿纵轴其声阻略有变化，当卸载后，又恢复到图 4(a) 状态。图 4(c) 为继续加大

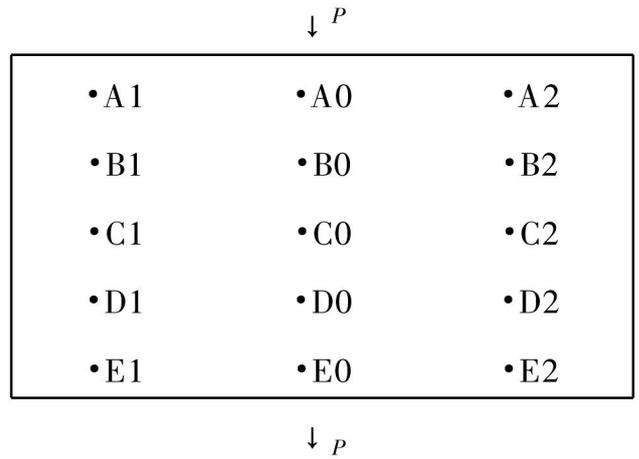


图3 铝合金测速点分布图

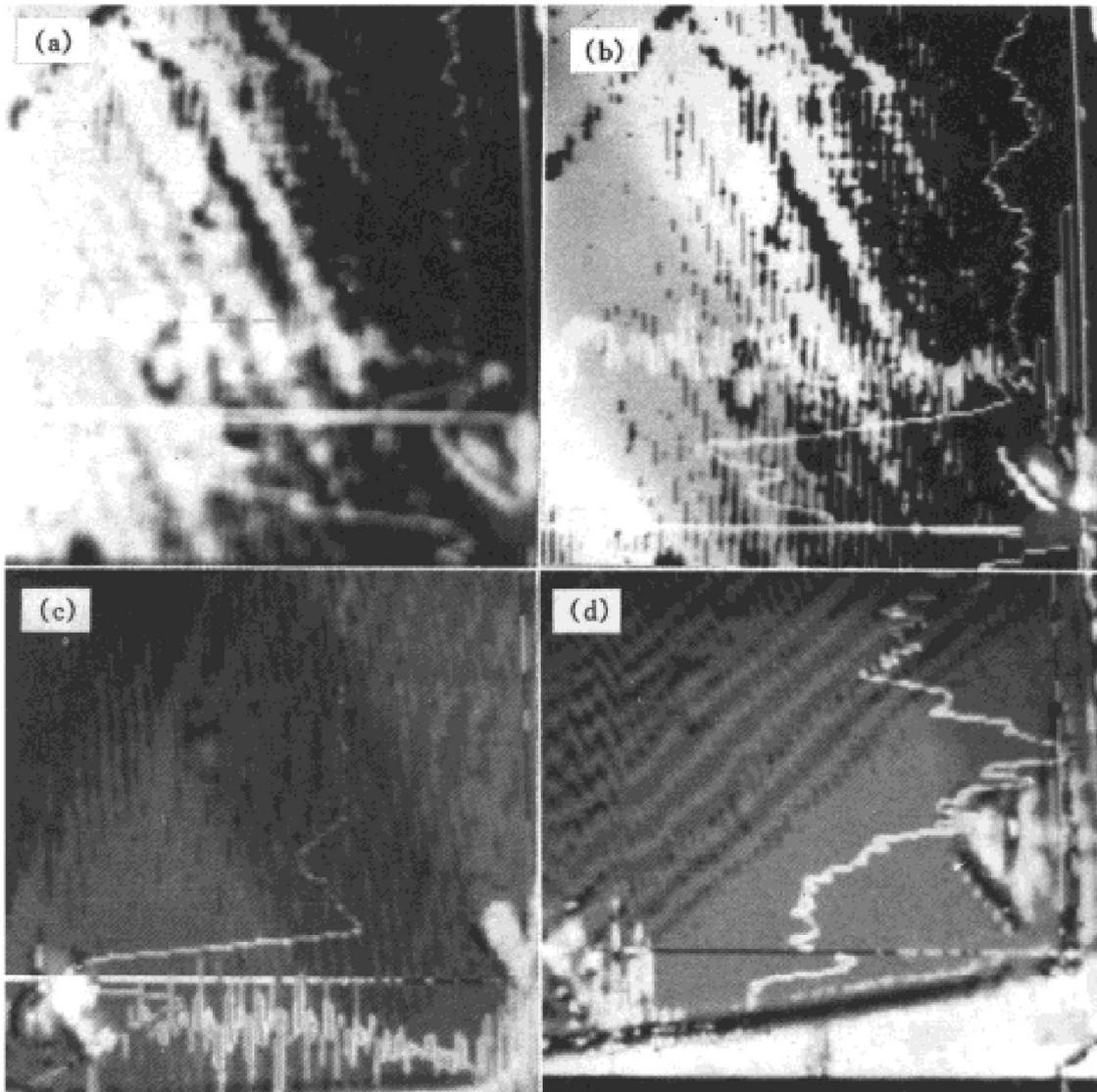


图4 有机玻璃声学显微组织

(a) 一无载；(b) 一小载；(c) 一大载；(d) 一卸载

载荷(大载荷)后测得的声显微结构,显然此时所测带状条纹已发生明显偏转,约右转 45° ,而且声阻变化显著。图4(d)为最后卸载后测得的显微组织,该图表明,有机玻璃试样承受大载荷然后卸载后,不但显微组织不恢复原状,而且显微条纹还会继续向右偏转,声阻变化更大,沿纵轴声阻出现明显跳跃。图5为热轧铝合金材料无载 \rightarrow 有载 \rightarrow 卸载后测得的皮下显微组织,声阻参数坐标原点也建立在人为刻痕处。其中图5(a)为无载,图5(b)为小载,图5(c)为大载,图5(d)为卸载状态下测得的显微结构,显然其声阻沿横轴变化明显,该试样显微组织也出现带状条纹,初步分析是与热轧有关的锻造纤维组织^[3]。

2.2 声速测量结果

附表所示为不同材料承受不同压力下测得

的横波波速 C_t 。

图6为所测铝合金承载时声速分布图。

附表 实测横波波速 C_t (m/s)

材料	扳手旋转 0°	扳手旋转 3°	扳手旋转 10°
有机玻璃	1 222	1 184	1 136
SG4 陶瓷	4 545	4 347	4 166
铝合金	3 174	3 125	3 030

①所做夹具因不宜直接测力,故以扳手旋转角度表示夹紧力,角度越大,夹紧力越大。

②测量点均为试样中心。

3 结果分析

由文献[4]知横波速度 C_t 与弹性模量 E ,材料密度 ρ 以及泊松比 σ 有以下关系:

$$C_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(1+\sigma)}} \quad (1)$$

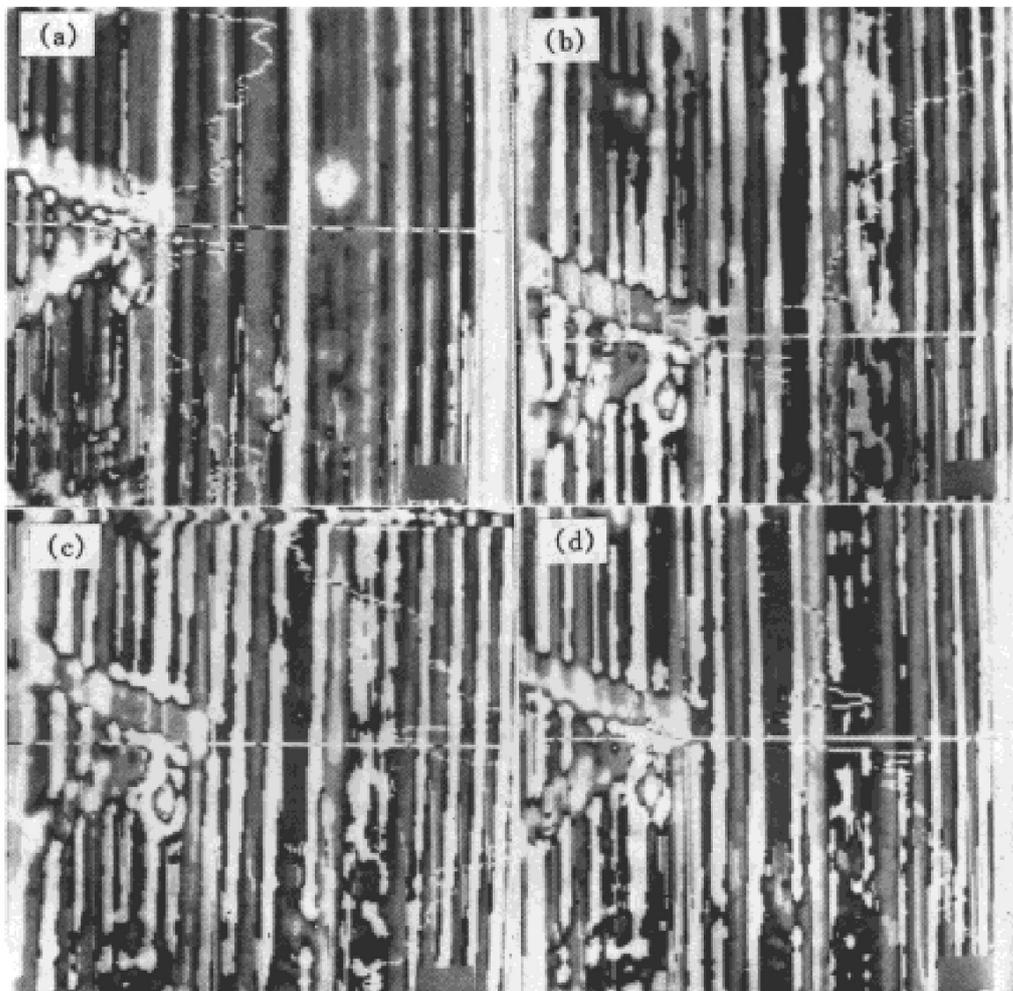


图5 铝合金声学显微组织

(a) — 无载; (b) — 小载; (c) — 大载; (d) — 卸载

$A1(\dot{3} 225)$	$A0(\dot{3} 25)$	$A2(\dot{3} 225)$
$B1(\dot{3} 174)$	$B0(\dot{3} 030)$	$B2(\dot{3} 174)$
$C1(\dot{3} 125)$	$C0(\dot{3} 030)$	$C2(\dot{3} 125)$
$D1(\dot{3} 174)$	$D0(\dot{3} 030)$	$D2(\dot{3} 174)$
$E1(\dot{3} 225)$	$E0(\dot{3} 030)$	$E2(\dot{3} 225)$

图6 铝合金承载下各点速度分布图

由式(1)知, 介质弹性性能越好, 密度越大, 则介质的声速越小。考虑到无载情况下匀质材料密度 ρ 是一常量, 所以 C_t 在其它参数不变情况下应是不变的。但承载后, 因受力不同, 材料内部应力分布也不同, 因此材料各处密度 ρ 将随所承载荷 $p(x, y, z)$ 变化而变化, 即有

$$\rho = \rho(p) \tag{2}$$

由(1)、(2)式得

$$C_t = \sqrt{\frac{E}{2\rho(p)(1+\sigma)}} \tag{3}$$

式(3)表明, 在压力作用下, 随着 p 增加, ρ 升高, C_t 下降, 这与实测结果是吻合的。

此外, 由于声阻 Z_s 在连续介质中与密度 ρ 及介质声速 C_0 有以下关系:

$$Z_s = \pm \rho C_0 \tag{4}$$

故有

$$Z_s = \pm \rho(p) C_0 \tag{5}$$

式(5)表明, 声阻也随 p 的变化而变化, 由于 C_t 及 Z_s 与 p 有以上关系, 说明可通过测量声速或声阻间接测出试样各处应力大小及分布情况, 这对非破坏性检测零件载荷分布、评价重要零件失效前的寿命是非常重要的。

此外超声波在介质中传播时, 由于介质本身的粘滞性, 所引起的声能损耗叫吸收衰减。介质的粘滞效应又分为切变粘滞和体积粘滞两种, 受载后, 由于引起体积和应力变化, 其声速与声阻也必然发生变化。

以上分析说明承载后材料的声速和声阻是变化的, 声速与声阻的变化将引起超声波在材料内部传播时的变化, 这在显微照片中体现为

色彩对比度的差异, 说明不同结构的吸收能力不同, 测试结果证明了这一点。但是分析发现, 铝合金的带状声学显微结构并不随承载压力的变化而变化, 而有机玻璃的带状显微组织则随载荷增加而明显偏转, 这种现象显然尚不能用声速与声阻变化加以简单解释, 似乎这种偏转并不完全是一种物理现象。能否看成是非晶体材料在压力和超声波作用下分子结构出现的一种新的组合还有待深入研究。但是这种现象肯定是与作用力的大小、分布、方向密切相关的。它是对作用力的大小、方向、分布的一种记忆, 了解这种记忆方式是十分有意义的。

4 结论

(1) 承载条件下, 有机玻璃的声学显微结构随载荷增加呈现出明显偏转现象, 这种因承载变化而出现的现象在一定程度上记录了试样所受力的大小、方向、分布。隐含有特定的物理化学信息。

(2) 承载条件下, 无论是金属、有机玻璃、陶瓷, 其声速均随压应力的增加而下降, 其变化在整个试样上分布是不均匀的, 与试样各处应力分布规律有对应关系。

(3) 利用精密声速测量仪, 可对重要大型受力构件进行声速测量, 从而换算出构件受力分布情况, 并进一步评价构件设计的合理性及寿命。

(4) 利用声速与载荷这种密切相关的联系, 可设计出一种新型的力传感器, 以便进行非接触式无损测力。

参考文献

- 1 Laurence C W, Scruby C B. J Mater Sci, 1993, 28(13): 3645- 3652.
- 2 胡建恺, 张谦林. 超声检测原理. 合肥: 中国科技大学出版社, 1993: 17- 24.
- 3 孙康宁等. 金属热处理学报, 1995, (4): 26- 28.
- 4 Ying Q R, Uett C, Briggs G A D. Mater Sci, 1982, 17(8): 2449- 2452.

4 葛丰德. 机械工程学报, 1989, 25(1): 1-7.

6 李庆春. 铸件形成理论基础. 北京: 机械工业出版社,

5 葛丰德. 哈尔滨科技大学学报, 1983, (1): 80.

1982: 250-256.

EFFECT OF PULSATING ELECTROMAGNETIC FIELD ON HOT CRACKING OF Al-Cu ALLOYS

Ning Zhiliang, Xu Zhihui, Liang Weizhong, Cui Tianzhen
Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080

Yang Wansheng
Harbin Company of Gas, Harbin 150076

ABSTRACT Under laboratory conditions, the effects of pulsating electromagnetic field on the tendency of the hot cracking of Al-Cu alloys were studied by comparative method. It was shown that pulsating electromagnetic field can contract the valid crystallization region and lessen the line shrinkage of Al-Cu alloys. The tendency of hot cracking of Al-Cu alloys decreases markedly under pulsating electromagnetic field. When f is equal to 19.5 Hz, the effect of pulsating electromagnetic field on the tendency of hot cracking is lesser than any other frequency conditions and when f is larger than 37.5 Hz the pulsating electromagnetic field gives little effect on the hot cracking.

Key words pulsating electromagnetic field Al-Cu alloy hot crack

(编辑 黄劲松)

(上接 128 页)

DEFLECTION CHARACTERISTICS OF MATERIALS' ACOUSTIC MICROSTRUCTURES UNDER LOADING CONDITIONS

Sun Kangning, Zhang Jingde, Liu Yuanchao, Wang Xin, Yin Yansheng
School of Materials Science and Engineering,

Shandong University of Technology, Jinan 250061

Maslove K I, Zhang S G

Russian Academy

ABSTRACT The materials acoustic microstructures under different loading conditions were analysed. The results indicate that not only the sound speed but also the materials' acoustic microstructures change with the load. The structures distort in the condition of elastic deformation, which reflects a new acoustic property of materials.

Key words materials acoustic microscope microstructures deflection characteristics

(编辑 彭超群)