

金属材料固-液转变过程的低频内耗研究*

陈 刚^{1,2}, 朱震刚²

(1. 江苏理工大学材料科学与工程学院, 江苏 镇江 212013;

2. 中国科学院固体物理研究所内耗与固体缺陷开放研究实验室, 合肥 230031)

摘 要: 介绍双试样悬浮方法测量金属材料固-液转变过程低频内耗的原理, 提出不同条件下的力学模型, 并由这些力学模型推导了不同扭摆振动系统的内耗表达式. 通过对纯 Zn 固-液转变过程低频内耗的实际测量, 证实了该方法在金属材料固-液转变过程内耗测量研究中的可行性, 并对上述测量方法的特点进行了初步分析.

关键词: 金属材料; 固-液转变; 低频内耗

中图分类号: O482 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) S1-0276-03

利用低频内耗技术研究固体材料的微观结构已经有 50 多年的历史. 到目前为止, 主要实验技术已经成熟, 在金属材料的固态相变研究中发挥着比较重要的作用^[1~4]. 然而, 由于固体材料, 特别是固态金属材料在温度接近熔点时物理和力学特性发生很大的变化, 使这些材料在熔点附近的低频内耗测量具有很大的难度. 有鉴于此, 一些研究工作通过对试样的改进, 尝试了利用低频内耗技术研究液态金属以及液-固或固-液转变的可能性^[5~8]. 由于在测量过程中往往存在许多变化因素, 因而使得对于液-固转变过程内耗的研究和分析存在很大困难, 至今尚没有令人信服的固-液转变过程内耗的测量方法. 本文通过改进试样在测量系统中的布置方式, 提出一种利用低频内耗技术研究金属材料固-液转变过程的新的实验方法, 并利用该方法对纯锌在固-液转变过程的低频内耗进行了研究.

1 实验方法及原理

内耗测量实验在一台强迫振动扭摆试验仪上进行. 图 1 为强迫振动扭摆试验仪的示意图. 在本文的实验中, 待测样品夹持在纵摆杆与下夹头之间, 样品的直径为 1.0~1.2 mm, 样品的有效长度略小于或等于其直径, 以便在样品熔化时能保证样品在表面张力的作用下悬浮在纵摆杆与下夹头之间. 实验采用分析纯 Zn 粒经熔化后制成

圆柱状样品. 内耗测量过程中样品置于密闭的样品室中, 实验开始前样品室先抽真空然后充氮气保护.

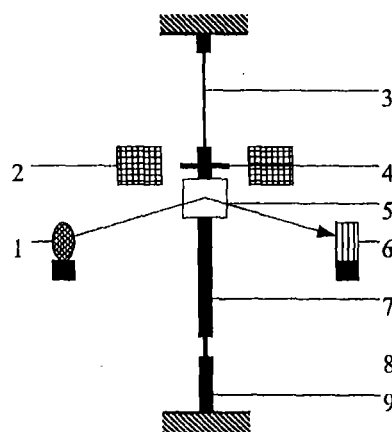


图 1 测量装置的结构示意图

1. 光源 2. 电磁线圈 3. 上试样
4. 小磁针 5. 镜子 6. 光电转换器
7. 纵摆杆 8. 待测样品 9. 下夹头

对于含有一根标准滞弹性试样和一个待测样品的振动系统, 其力学模型如图 2 所示, 该振动系统在强迫振动形式下工作时的运动方程为

$$(k_1 + k_2)F + \eta \frac{dF}{dt} = (k_1 k_2 + k_1' k_2')X +$$

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (19874067); 中国科学院“九五”基础研究重点资助项目 (KJ952-J1-412)

收稿日期: 2000-12-30; 作者简介: 陈 刚, 男, 副教授.

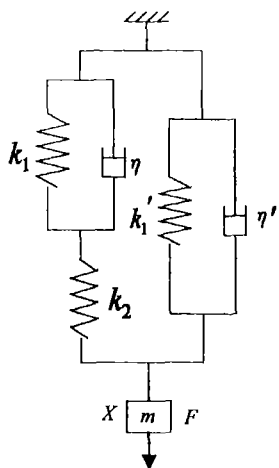


图2 图1所示振动系统的力学模型

$$\begin{aligned} & (k'_1 + k_2\eta + k_1\eta' + k_2\eta') \frac{dX}{dt} + \\ & (k_1m + k_2m + \eta\eta') \frac{d^2X}{dt^2} + \eta m \frac{d^3X}{dt^3} \quad (1) \end{aligned}$$

式中各参数如力学模型中所示。当待测样品为处于接近材料熔点的固体时，力学模型中的力学单元 k'_1 和 η' 均起作用；而当待测样品为液体时，力学模型中只有力学单元 η' 起作用， k'_1 则不起作用，即 $k'_1=0$ 。从上述公式，可以得到振动系统的内耗为

$$Q^{-1} = \tan\theta = \frac{k_1 + k_2}{(k_1 + k'_1)k_2(k_1 + k_2) + A\eta\omega^2 - (k_1 + k_2)M\omega^2 - m\eta^2\omega^4} \quad (2)$$

式中 A 和 M 分别为式 (1) 中 $\frac{dX}{dt}$ 和 $\frac{d^2X}{dt^2}$ 项前面的系数。

对图1所示的振动系统，当不包含待测样品8时，就变成了一个正摆系统。对该系统可以利用文献[7]关于含有一个标准滞弹性样品的扭摆振动系统的理论分析，结合不同频率下获得的内耗测量结果，得到 $k_1:k_2:\eta:m$ 。由于在本文采用的测量方法中上试样在测量过程中不发生变化，因此从理论上可以通过测量不同频率下振动系统的内耗值，并由 $k_1:k_2:\eta:m$ 和式(2)得出和 k'_1 的 η' 比值，从而消除上试样对测量样品的内耗的影响，为利用该方法研究固-液转变过程的内耗提供可能。

2 实验结果及其分析

图3为纯锌在固-液转变过程中的内耗-温度曲线和相应的模量-温度曲线。从图3(a)

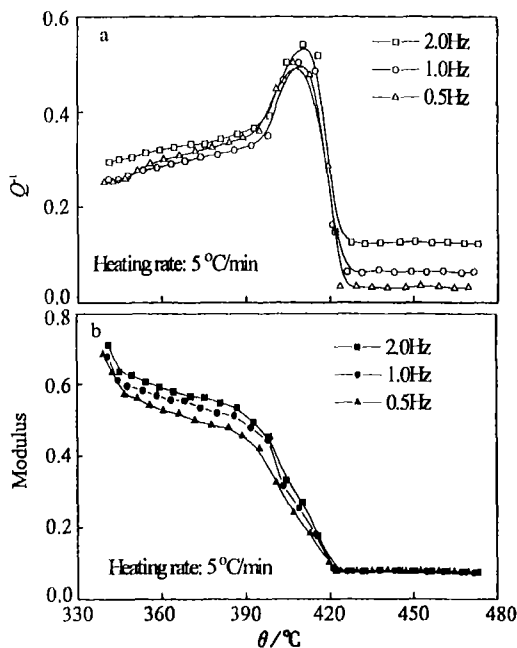


图3 纯锌在升温过程中的内耗-温度曲线和相应的模量-温度曲线

中的曲线可以看出，伴随锌的固-液转变过程，不同测量频率下获得的内耗-温度曲线上都出现了内耗峰。内耗峰的峰温基本对应于合金的熔化过程，内耗峰的峰值随测量频率的变化而变化，测量频率越高内耗峰的峰值越大。图3b中相应的模量-温度曲线则在熔点附近出现一个明显的下降。结合式(2)的内耗表达式，可以对内耗值的变化做一个简要分析。当样品温度升高到接近熔化温度时，如图3b所示模量急剧下降，同时粘滞系数在熔点附近也出现突然下降，两者综合作用使内耗曲线上出现了内耗峰。当样品熔化以后，其切变模量为零，因而 $k'_1=0$ ；而 η' 则为一个与液体的作用面积和粘滞系数相关的参数，由于样品的尺寸小，液体的粘滞系数又远低于同种材料固态时的粘滞系数，因此 η' 远小于上试样的 η 值。这样，在样品熔化以后系统的内耗值近似等于不包含待测样品8时振动系统的内耗值，图3中的测量结果证实了上述分析。

3 结论

在本文中，作者提出了一种利用低频内耗技术研究金属材料固-液转变过程的新方法。在对该方法的基本原理进行分析的基础上，对纯锌在固-液转变过程的低频内耗进行了实际测量。结果表明，伴随固-液转变过程内耗曲线上出现了

内耗峰. 作者结合实验结果分析认为, 本文提出的实验方法能有效地用于研究金属材料的固-液转变过程.

参考文献:

- [1] NOWICK A S, BERRY B S. Anelastic relaxation in crystalline solids. New York: Academic Press, 1972.
- [2] KE T S. Phys Rev, 1950, 78: 420.
- [3] ALEFELD G. Phil Mag, 1965, 11: 809.
- [4] BODE B. Phil Mag, 1966, 13: 275.
- [5] KE T S. J Alloys and Compounds, 1994, 211/212: 90.
- [6] GILLHAM J K, ROLLER M B. Poly Eng Sci, 1971, 11: 295.
- [7] 陈刚, 水嘉鹏, 朱震刚. 物理学报, 1999, 48: 423.
- [8] CHEN G, ZHU Z G, SHUI J P. Chin Phys Lett, 1999, 16: 589.