

Zn-Al 二元合金熔化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, 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)

(2001 年 5 月 24 日收到, 2001 年 9 月 24 日收到修改稿)

利用强迫振动扭摆方法对 Zn-Al 二元合金熔化过程的低频内耗进行了研究. 结果表明, Zn-Al 二元合金熔化过程的内耗峰与其固态相变内耗峰的特征有较大差异. 结合该合金熔化过程的微观结构变化, 初步分析了内耗峰的形成机理.

关键词: Zn-Al 合金, 低频内耗, 熔化

PACC: 6240, 6470D

1 引 言

利用低频内耗技术研究固体材料的微观结构已有 50 多年历史. 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了一定的作用^[1-6]. 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变化, 使这些材料在高温条件下以及固—液转变过程中的低频内耗测量具有很大难度. 另一方面, 对于熔化过程进行低频内耗研究, 不仅可以拓展低频内耗技术的应用范围, 而且可以进一步加深对熔化过程本质的认识. 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^[7-10]. 由于在测量过程中往往存在许多变化因素, 使得对于液—固和固—液转变过程低频内耗的研究和分析存在很大困难, 因而至今尚未见令人信服的固—液转变过程低频内耗的测量方法.

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测量技术研究金属材料固—液转变过程的实验方法, 并利用该方法对 Zn-Al 二元合金固—液转变过程的低频内耗进行了研究.

2 实验方法与结果

内耗测量实验在一台由微机控制的强迫振动扭

摆试验仪上进行. 图 1 为强迫振动扭摆试验仪示意图. 在本文的实验中, 上试样 3 为一根直径为 1.10mm 有效长度为 35mm 的镍铬合金丝, 所测 Zn-Al 二元合金试样夹持在纵摆杆 7 的下端和下夹头 9 之间, 试样的直径为 1.00mm, 试样的有效长度小于 1.00mm. 取试样的有效长度小于或等于试样的直径, 可以保证 Zn-Al 二元合金试样在熔化过程中在表面张力作用下悬浮在纵摆杆和下夹头之间^[11]. 实验使用的 Zn-Al 合金采用分析纯 Zn 粒和纯度为 99.99% 的纯 Al 配制, 合金成分为 Zn-6.80wt% Al. 实验过程中试样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.

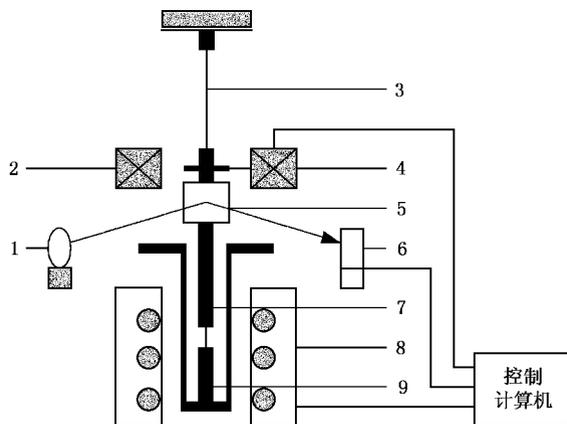


图 1 强迫振动扭摆试验仪的结构示意图 1 为光源, 2 为电磁线圈, 3 为上试样, 4 为小磁针, 5 为镜子, 6 为光电转换器, 7 为纵摆杆, 8 为电阻炉, 9 为下夹头

^{*} 国家自然科学基金(批准号:19874067)及中国科学院“九五”基础性研究重点项目(批准号:KJ-952-J1-412)资助的课题.

图 2 为 Zn-Al 二元合金在凝固过程中的内耗曲线.从图 2 的曲线可以看出,伴随 Zn-Al 二元合金的凝固过程,各内耗曲线上都具有两个内耗峰和一个内耗谷,其中温度较低的内耗峰对应于 Zn-Al 二元合金的共析转变^[12],而温度较高的内耗峰则对应于合金的熔化过程,这两个内耗峰的峰位和峰形有明显的差别.熔化过程的内耗峰的低温侧具有一个谷而在高温侧的下坡上则有一段变化相对缓慢的过程.图 2 的结果还表明,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.

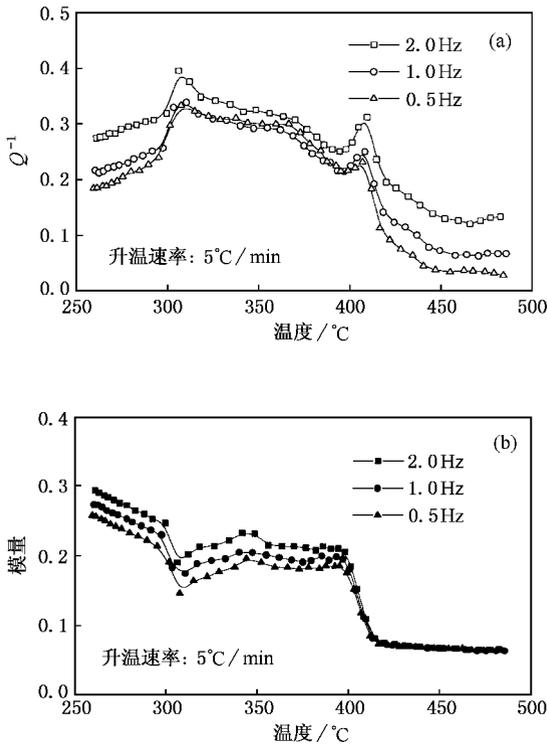


图 2 Zn-Al 二元合金熔化过程的内耗-温度曲线(a)和模量-温度曲线(b)

3 分析讨论

首先分析该测量系统的运动方程和内耗表达式.在测量系统中不放置 Zn-Al 合金试样时,测量系统为只含上试样 3 的正摆系统,其力学模型如图 3 所示.该模型为具有一个标准滞弹性固体试样的振动系统的力学模型,当以强迫振动方式工作时,该振动系统的运动方程为

$$k_1 k_2 X + k_2 \eta \frac{dX}{dt} + (k_1 + k_2)m \frac{d^2 X}{dt^2} + \eta m \frac{d^3 X}{dt^3} = (k_1 + k_2)F + \eta \frac{dF}{dt}, \quad (1)$$

式中 k_1 、 k_2 为弹簧的刚度, η 为粘壶的粘滞系数, m 为振动系统的惯量, X 为惯量的位移, F 则为外加的周期力.从(1)式可以得出含有一个标准滞弹性固体的振动系统的内耗为

$$Q_0^{-1} = \tan \theta_0 = \frac{k_2 \eta \omega_2^2 \omega}{(k_1 + k_2)(\omega_0^2 - \omega_2^2) + \eta_2 \omega_2 (\omega_2^2 - \omega^2)}, \quad (2)$$

式中 $\omega_0^2 = \frac{k_1 k_2}{m(k_1 + k_2)}$, $\omega_2^2 = \frac{k_2}{m}$.如果测量了上述振动系统在不同测量频率下的内耗,则可从(2)式得出力学模型中各参数的比例关系 $k_1 : k_2 : \eta : m$.

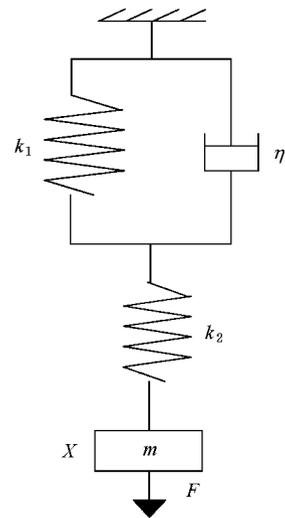


图 3 含有一标准滞弹性试样振动系统的力学模型

在测量系统中放置 Zn-Al 合金试样以后,系统变成一个具有一根标准滞弹性试样和一个粘弹性待测试样的振动系统,其力学模型如图 4 所示.该振动系统在强迫振动形式下工作时的运动方程为

$$(k_1 + k_2)F + \eta \frac{dF}{dt} = (k_1 k_2 + k_1' k_2)X + (k_1' \eta + k_2 \eta + k_1 \eta' + k_2 \eta') \frac{dX}{dt} + (k_1 m + k_2 m + \eta \eta') \frac{d^2 X}{dt^2} + \eta m \frac{d^3 X}{dt^3}, \quad (3)$$

式中 k_1' 和 η' 如力学模型中所示.当待测试样为处于接近材料固相线温度的固体时,试样为粘弹性体,力学模型中的力学单元 k_1' 和 η' 均起作用;而当待

测试样为液体时,试样为粘滞流体,力学模型中只由力学单元 η' 起作用, k'_1 则不起作用,即 $k'_1 = 0$. 从(3)式可以得到振动系统的内耗为

$$Q^{-1} = \tan\theta = \frac{(k_1 + k_2)A\omega - k_1 k_2 \eta\omega + M\eta\omega^3 - (k_1 + k_2)m\eta\omega^3}{k_1 k_2 (k_1 + k_2) + A\eta\omega^2 - (k_1 + k_2)M\omega^2 - m\eta^2 \omega^4} \quad (4)$$

式中 A 和 M 分别为(3)式中 dX/dt 和 $d^2 X/dt^2$ 项前面的系数. 上述分析表明,固-液转变过程的低频内耗是可以进行测量的,实验结果也正说明了这一点.

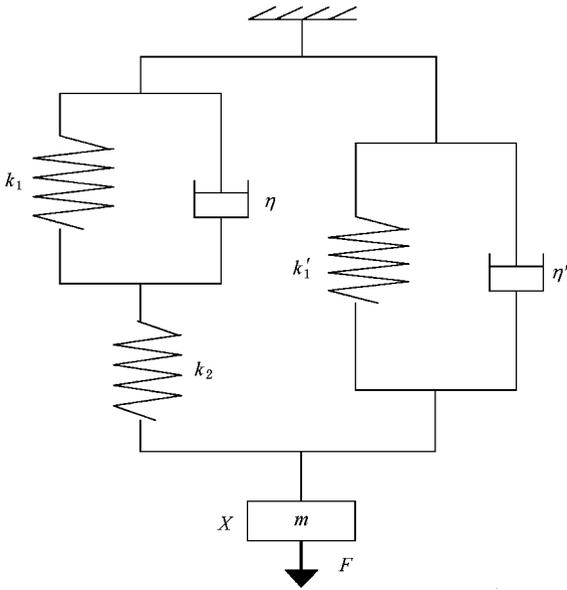


图4 图1所示扭摆振动系统的力学模型

图5为 Zn-Al 二元状态图^[13]. 从图5可以看出, 本文研究的 Zn-Al 二元合金具有一个液-固两相共存的温度区间. 与图2中的内耗曲线进行比较, 可以发现, 这一温度区间对应于内耗峰高温侧下坡終了前缓慢下降的部分. 为了进一步分析该部分的形成原因, 本文对纯 Zn 熔化过程的内耗曲线进行了测量, 结果见图6. 结合图2中曲线可以看出, 在 Zn-Al 合金熔化过程的内耗曲线上, 内耗峰的下坡较缓, 具有一个缓慢下降的过程, 而在纯 Zn 的内耗曲线上内耗峰的下坡则较突然, 没有缓慢下降的过程, 这与 Zn-Al 二元合金以及纯 Zn 各自的熔化特点有关. 对于 Zn-Al 二元合金, 在升温过程中存在一个液-固两相共存的温度范围, 合金由固态到液态的转变过程是一个渐进的过程, 而纯金属在理论上不存在这样的温度范围.

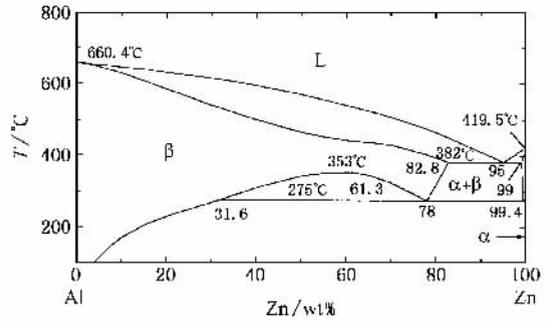


图5 Zn-Al 二元状态图

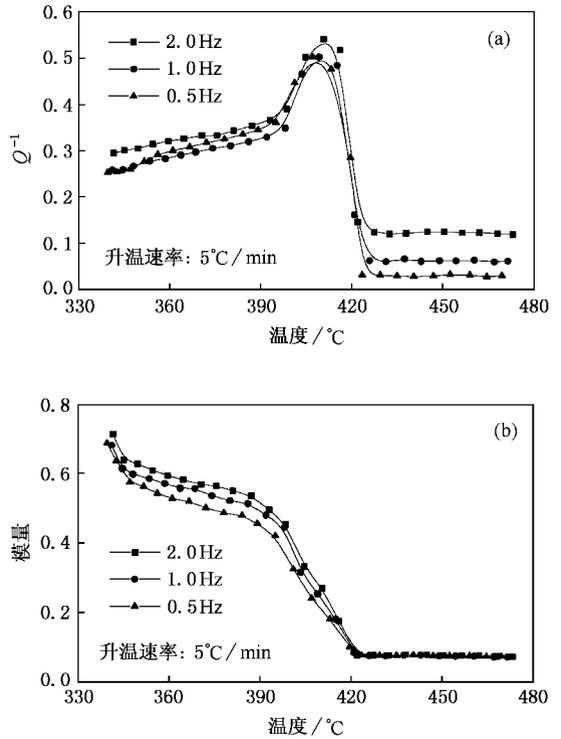


图6 纯 Zn 熔化过程的内耗-温度曲线(a)和模量-温度曲线(b) 图注同图2

4 结 论

本文提出了一种利用强迫振动扭摆测量熔化过程低频内耗的实验方法, 并对 Zn-Al 二元合金熔化过程的低频内耗进行了研究. 结果表明, 伴随 Zn-Al 二元合金的熔化过程, 内耗曲线上出现了内耗峰, 且内耗峰与其固态相变内耗峰的特征存在明显差异. 结合熔化过程中 Zn-Al 二元合金的结构变化以及与纯 Zn 熔化过程内耗峰的比较, 作者认为, 内耗峰的形成与熔化过程中固-液两相的界面变化有关.

- [1] Nowick A S and Berry B S 1972 *Anelastic Relaxation in Crystalline Solids* (New York :Academic)
- [2] Ke T S 1950 *Phys. Rev.* **78** 420
Ke T S 1950 *Sci. Record* **3** 61
- [3] Alefeld G 1965 *Phil. Mag.* **11** 809
- [4] Bode B 1966 *Phil. Mag.* **13** 275
- [5] Shui J P , Liu Y S and Pei H Y 1998 *Acta Phys. Sin.* **47** 658 [水嘉鹏、刘咏松、裴慧元 1998 物理学报 **47** 658]
- [6] Shui J P and Liu Y S 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** 692 [水嘉鹏、刘咏松 1999 物理学报 **48** 692]
- [7] Ke T S 1994 *J. Alloys Compounds* **211/212** 90
- [8] Gillham J K and Roller M B 1971 *Poly. Eng. Sci.* **11** 295
- [9] Chen G , Shui J P and Zhu Z G 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** 421 [陈刚、水嘉鹏、朱震刚 1999 物理学报 **48** 421]
- [10] Chen G , Zhu Z G and Shui J P 1999 *Chin. Phys. Lett.* **16** 589
- [11] Miller C A and Neogi P 1985 *Interfacial Phenomena : Equilibrium and Dynamic Effects* (New York : Marcel Dekker Inc.)
- [12] Pei H Y , Shui J P and Chen X M 1998 *Mater. Sci. Eng. A* **256** 214
- [13] Lin Z Q 1986 *Nonferrous Metallurgy* (Shenyang :Northeastern Institute of Technology Press] 林肇琦 1986 有色金属材料学(沈阳 : 东北工学院出版社)

Study on the low frequency internal friction in Zn-Al binary alloy during the melting process *

Chen Gang^{1,2)} Zhu Zhen-Gang²⁾

¹⁾(School of Materials Science and Engineering , Jiangsu University of Science and Technology , Zhenjiang 212013 , China)

²⁾(Laboratory of Internal Friction and Defects in Solids , Institute of Solid State Physics , Chinese Academy of Sciences , Hefei 230031 , China)

(Received 24 May 2001 ; revised manuscript received 24 September 2001)

Abstract

The low-frequency internal friction in Zn-Al binary alloy during the melting process is measured via forced vibration torsional pendulum. It is shown that the internal friction accompanied with the melting process of the alloy is far from that accompanied with the eutectoid transition in this alloy. According to the structure variation during the melting process , the mechanism to form the internal friction peak is discussed.

Keywords : Zn-Al binary alloy , internal friction , melting

PACC : 6240 , 6470D

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China(Grant No. 19874067) , and the Funds for Key Program of the Chinese Academy of Sciences in the National " 9th 5-year plan " ,China(Grant No. KJ-952-J1-412).