

NiTi 合金相变过程中界面动力学的 内耗研究

张 进 修 罗 来 忠

(中山大学物理系)

1985 年 12 月 31 日收到; 1987 年 3 月 12 日收到修改稿

提 要

本文采用同时测量内耗、模量及电阻的方法, 对 NiTi 合金变温过程中所发生的正、反马氏体相变及可逆 I/C 相变进行了系统的研究. 结果表明, 变温马氏体相变及 I/C 相变过程中内耗均为粘弹性型内耗, 是相界面在克服粘滞性阻力而运动时引起的. 从界面动力学出发, 研究了相变过程中界面的运动动力学行为. 由实验数据求得了马氏体相变过程中界面动力学关系的具体表达式为: $V = V^* \exp(-\Delta G^*/\Delta G - \Delta G_R)$; 相变过程内耗表达式为:

$$Q^{-1} = \frac{n^2}{2} \cdot \frac{\mu \Delta G^*}{(\Delta G - \Delta G_R)^2} \cdot \frac{dF}{dT} \cdot \frac{\dot{T}}{\omega};$$

相变阻力 ΔG_R 约为 10 cal/mol 的数量级. 讨论了相变过程中的“软模”效应. 马氏体相变过程中的模量“软化”来自声子模的软化和界面运动引起的附加模量亏损两个方面.

一、引 言

热弹性马氏体相变由于具有形状记忆效应和超弹性行为而受到人们的普遍重视, 成为固态相变研究中一个很活跃的领域. 由于马氏体相变为一级相变, 新旧两相可以共存, 因此两相之间必存在相界面, 而新相的长大就靠相界面在外场驱动下的运动来完成. 对热弹性马氏体相变来说, 相变动力学主要由长大过程所控制. 因此, 研究马氏体相变过程中界面运动动力学, 对研究马氏体相变动力学, 进一步揭示马氏体相变的机制具有重要意义.

马氏体相变过程中的内耗与相界面的运动特性密切相关. 同时测量内耗、模量及电阻随温度的变化, 是研究马氏体相变及其动力学过程的一种有效方法, 可以同时获得同一过程中几方面的信息, 从不同的角度进行探讨. 根据以往文献的报道, 马氏体相变过程中的低频内耗具有以下主要特征^[1-4]:

- 1) 变温测量时, 内耗峰值 Q_F^{-1} 与 $\dot{T}/f$ 有线性关系, $\dot{T}$ 为变温速率, f 为测量频率;
- 2) 中等测量振幅下内耗与振幅无关;
- 3) $\dot{T} = 0$ 时, 相变过程的特征内耗消失, 但有时仍出现稳定内耗峰, 稳定内耗与频率 f 无关.

关于马氏体相变内耗的机制,马应良和葛庭燧^[5]曾认为,FeMn 合金中马氏体相变过程内耗为共格界面上位错的运动所引起.王业宁等人^[4]认为,AuCd 合金马氏体相变中的稳定内耗起源于应力感生界面位错的静滞后运动,并提出了稳定内耗的界面位错静滞后型阻尼机制.对于变温内耗,Delorme 等人^[6]认为相变过程内耗与参与转变的马氏体体积分数有关,此模型可以定性地解释变温内耗的主要特点. Mecier 等人^[3]对 NiTi 合金马氏体相变过程内耗进行了较系统的研究.他们把相变过程内耗分为与 $\dot{T}$ 有关及无关的两部分,提出了内耗与软模的关系,并用位错动力学阻尼机制解释稳定内耗峰(与 $\dot{T}$ 无关部分)的出现. 文献[7, 8]认为马氏体相变过程内耗与范性形变过程中位错运动引起的粘弹性内耗相似^[9],是相界面在粘滞性阻力作用下运动引起的粘弹性内耗,并从相变热力学与相界面运动动力学出发,建立了相变过程内耗的界面动力学模型. 此模型可以对变温相变过程内耗的特征作出合理的解释^[10],还可推广用于非晶合金晶化过程动力学^[11]、应力诱导相变过程动力学^[12]等的研究.

本文通过同时测量内耗、模量及电阻等随温度的变化,对 NiTi 合金正、反马氏体相变及可逆 I/C 相变进行了进一步的研究,得到了相变过程中界面运动动力学关系式的具体形式及相应的动力学参数.

二、实验方法与试样

实验所用装置为沈阳真空机械二厂生产的 JN-1 型真空倒扭摆内耗仪,经改装后可同时测量内耗 Q^{-1} 、模量 f' 及电阻 ΔR 随温度的变化. 内耗测量时的振幅信号由硅光电池接收并用记录仪记录;振动频率是通过光电转换后用电子毫秒计测量振动周期并进而换算成频率 f 及相对模量 f'' ;电阻测量采用直流四端电位法. 升降温速率控制装置由普通可控硅温度调节器加线性电位发生器组成,以实现线性升降温. 测量温度与试样中心的实际温度已经校准,试样两端(有效长度 80mm)温差 $< \pm 0.5^\circ\text{C}$. 测量内耗所用的振动频率 $f \sim 1\text{Hz}$,变温速率 $\dot{T} = 0.25 \sim 5^\circ\text{C}/\text{min}$. 热分析实验是在 DSC-2C (PERKIN-ELMER) 上进行的.

所用试样是由北京有色金属研究总院提供的 Ti-50.3at% Ni 丝材 ($\phi 1.6\text{mm}$). 制备了三种状态的试样,其热处理规范为: 第一种(编号 BA-)为 500°C 保温 1h 后炉冷;第二种(编号 BB-)为经冷加工后于 500°C 退火 1h 的片状试样;第三种(编号 BC-)为经双程形状记忆训练后达到稳定的试样.

三、实验结果与分析

1. 主要实验结果

用不同的恒定变温速率 $\dot{T}$ 测量了上述三种试样在相变过程中内耗 Q^{-1} 、模量 f' 及电阻 ΔR 随温度的变化,主要结果如下:

1) 正反马氏体相变

图 1(a)所示为 BA-03* 试样在相变温度范围内进行变温内耗测量的结果(变温速率

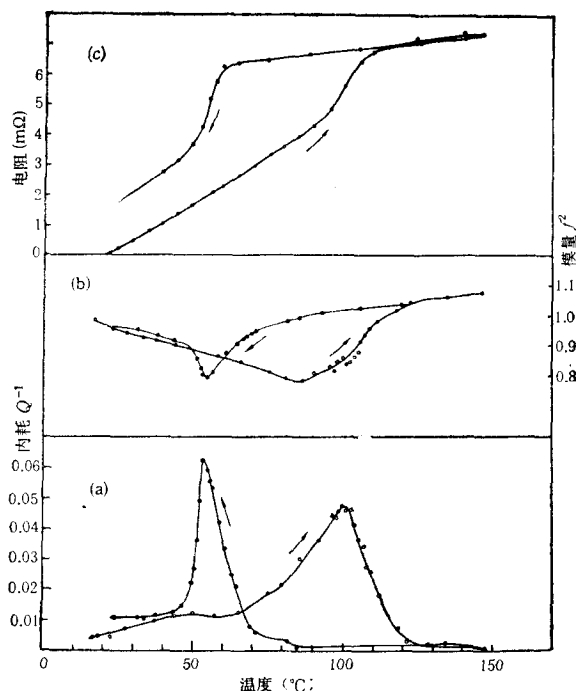


图1 BA-03# 试样变温过程中内耗(a)、模量(b)及电阻(c)变化
 $\dot{T} = 6\text{K/min}$; $f \sim 1\text{Hz}$

$\dot{T} = 6\text{K/min}$, 测量频率 $f \sim 1\text{Hz}$). 由图可见, 升温时内耗峰温约为 100°C , 降温时峰温约为 54°C . 模量 f^2 的相应变化如图 1(b), 可见具有明锐的模量极小, 与文献[2]报道的结果相符. 对比电阻变化曲线(图 1(c)) 可确认升降温过程所发生的相变为正反马氏体相变.

2) I/C , C/M 及 M/P 相变

图 2 给出 BB-04# 试样在升降温过程中的内耗、模量及电阻变化曲线. 由图 2 中的电阻变化曲线可见, 初次热循环时即在降温过程中出现由无公度 I 相转变为公度 C 相引起的电阻反常上升以及由此过程产生的内耗峰和模量极小; 随后出现马氏体相变 (C/M) 内耗峰, 对应于电阻下降. 降温过程有时出现两个模量极小, 分别对应于 I/C 及 C/M 相变内耗峰, 有时则只出现一个极小值. 这可能是因为两种相变过程交迭而难以分辨的缘故. 升温只出现一个宽散的反马氏体相变 (M/P) 内耗峰, 对应于电阻的单调上升.

为了考查变温速率对相变内耗的影响, 在同一频率下, 以不同的变温速率 ($\dot{T} = 0.25 \sim 5^\circ\text{C/min}$) 进行内耗测量, 发现正反马氏体相变及 I/C 相变内耗峰值 Q_p^{-1} 与 $\dot{T}/\omega$ 均有正变关系, 如图 3 所示, 但并非文献[4]所报道的线性关系, $dQ^{-1}/d(\dot{T}/\omega)$ 随 $\dot{T}/\omega$ 的增大而下降.

3) 可逆 I/C 相变

图 4(a) 为经形状记忆训练后试样 (BC-03#) 变温过程的内耗及模量随温度变化曲线 (变温速率 $\dot{T} = 4^\circ\text{C/min}$). 由图可见, 升降温过程中都只观察到单一的相变内耗峰, 并伴随有明显的模量软化现象发生. 图 4(b) 为相应的电阻变化曲线. 变温 X 射线衍射

结构分析表明,此过程所发生的相变为可逆 I/C 相变^[13].

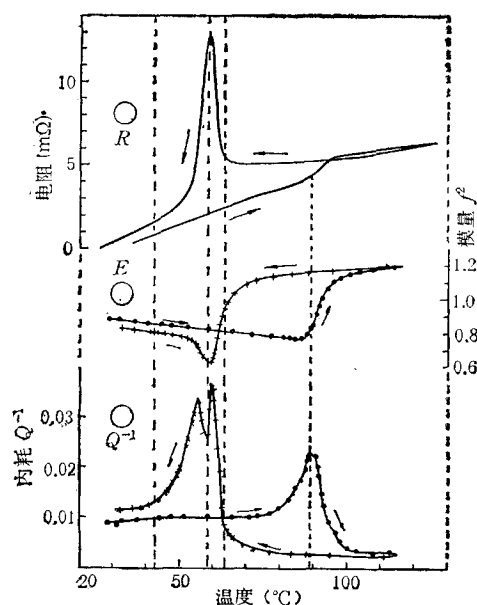


图2 BB-04# 试样变温过程中内耗、模量及电阻变化 $\dot{T} = 1\text{K/min}$, $f \sim 1\text{Hz}$

由于试样经过双程形状记忆训练,相变过程导致静止扭摆的零点发生漂移,图5给出了扭转角(切应变)随温度的变化曲线。因为马氏体相变是通过切变的方式进行的,零点漂移曲线实际上反映了试样在

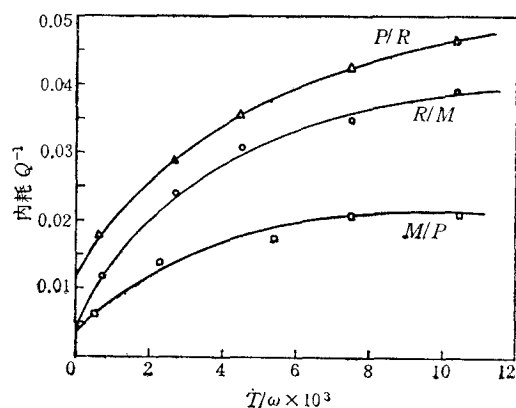


图3 不同变温速率下内耗峰值 Q_p^{-1} 与 $\dot{T}/\omega$ 关系

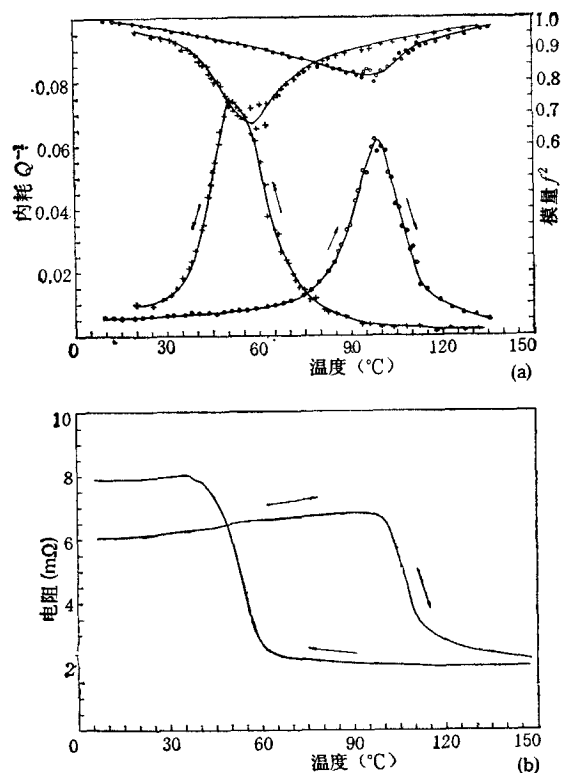


图4 BC-03# 试样变温过程中内耗、模量(a)及电阻(b)变化曲线 $\dot{T} = 4\text{K/min}$; $f \sim 1\text{Hz}$

相变过程中的宏观形状变化(扭转切变)。从图5中亦可看出,升降温过程的零点漂移曲线完全闭合,这意味着正反可逆相变产生的宏观形状形变完全回复,此即为双程形状记忆效应。由此看出,试样经训练后获得的双程形状记忆效应由可逆 I/C 相变提供^[13]。

图6为试样在同一 f 不同 $\dot{T}$ 时的 $Q^{-1}-T$ 曲线,随着 $\dot{T}$ 的升高,内耗峰值上升,峰温 T_p 往后移(升温时往高温方向,降温时往低温方向),这是一级相变热滞后的反映,与相变点随 $\dot{T}$ 的变化关系相符。内耗峰值 Q_p^{-1} 与变温速率 $\dot{T}$ 及测量频率 ω 的关系示于图6的左上角,可见可逆 I/C 相变内耗峰值 Q_p^{-1} 与 $(\dot{T}/\omega)$ 亦有正变关系,与文献[10]的结果类似,说明可逆 I/C 相变过程中内耗与马氏体相变内耗属同一类型。

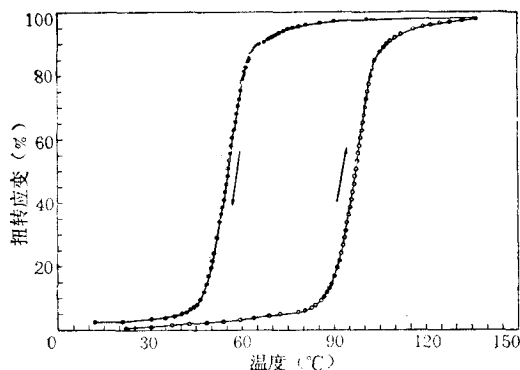


图5 BC-03# 试样可逆相变过程中的零点漂移曲线 $\dot{T} = 5\text{K/min}$

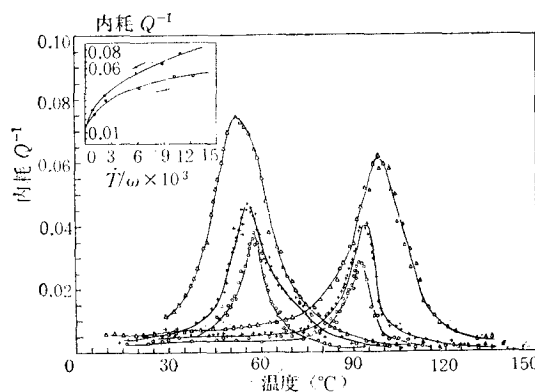


图6 不同变温速率下的内耗-温度曲线
 Δ — $\dot{T} = 4\text{K/min}$; +— $\dot{T} = 1\text{K/min}$; $\circ$ — $\dot{T} = 0.5\text{K/min}$

由以上实验结果可以看出, NiTi 合金马氏体相变及 I/C 相变过程中的内耗是一种粘弹性内耗,它是相变过程中运动界面在克服粘滞性阻力运动时所引起的。

此外,为求得相变驱动力,用不同的变温速率($\dot{T} = 1-10\text{K/min}$)测量了试样在相变过程中的吸、放热曲线(DSC)以及相变时的热焓变化 ΔH ,并由此求得不同 $\dot{T}$ 值时的相变驱动力 ΔG 。

2. 界面动力学

马氏体相变时,相界面靠相变驱动力 ΔG 的作用而运动。考虑到相变阻力 ΔG_R 的存

在, 相界面平均运动速度 V 与有效相变驱动力 $\Delta G' = \Delta G - \Delta G_R$ 之间存在确定的函数关系 $V = \varphi(\Delta G - \Delta G_R)$, 称为动力学关系. 由此得到相变过程内耗的表达式为^[7]

$$Q^{-1} = \frac{n^2}{2} \cdot \frac{d \log \varphi(\Delta G')}{d \Delta G'} \cdot \frac{dF}{dT} \cdot \mu \dot{T} / \omega, \quad (1)$$

式中 n 为耦合因子, μ 为试样的切变模量, ω 为振动频率, F 为新相的体积份数.

上式表明, 变温相变过程 Q^{-1} 正变于 $\dot{T}/\omega$, 与振幅无关, 且当 $\dot{T} = 0$ 时相变过程特征内耗消失. 这与低频内耗的实验事实相符. 相变过程内耗为可动界面在粘滞性阻力下运动时产生的粘弹性内耗.

将(1)式改写为

$$Q^{-1}\omega/\mu\dot{T} \frac{dF}{dT} = C' \cdot \frac{d \log \varphi(\Delta G')}{d \Delta G'}. \quad (2)$$

上式等号左端各物理量均可由实验测得, 其量纲为 cm^2/dyn , 即 $(\Delta G)^{-1}$, 所以 $d \log \varphi(\Delta G')/d \Delta G'$ 可取 $(\Delta G - \Delta G_R)^\alpha / \Delta G^{*(\alpha+1)}$ 的形式, 其中 α 取负整数. 因此(2)式可写为

$$\frac{Q^{-1}\omega}{\mu\dot{T} \frac{dF}{dT}} = C' \cdot \frac{(\Delta G - \Delta G_R)^\alpha}{\Delta G^{*(\alpha+1)}}. \quad (3)$$

利用线性回归分析的待定系数法, 就可以由实验数据定出界面动力学关系的具体形式及相应的动力学参数 ΔG_R 等.

相变驱动力 ΔG 的计算

对一级相变来说, 新旧两相的比热无跃变, 因此可以认为相变时热焓 ΔH 的变化与温度无关.

由于

$$\Delta G = \Delta H - T \cdot \Delta S \quad (4)$$

当 $T = T_0$ 时, $\Delta G = 0$, T_0 为两相化学自由能差为零时的特征温度. 由此得到熵的变化

$$\Delta S = \Delta H / T_0,$$

故

$$\Delta G = \Delta H \cdot (T_0 - T) / T_0. \quad (5)$$

式中热焓 ΔH 可由 DSC 测量. 知道了特征温度 T_0 以后, 就可以求得不同温度的相变驱动力 ΔG .

动力学关系

将(3)式改写成

$$\Phi(\Delta G - \Delta G_R) = \frac{Q^{-1}\omega}{\mu\dot{T} \frac{dF}{dT}} = C' \cdot \frac{(\Delta G - \Delta G_R)^\alpha}{\Delta G^{*(\alpha+1)}}. \quad (6)$$

利用双对数坐标 $\log \Phi(\Delta G - \Delta G_R) - \log(\Delta G - \Delta G_R)$ 的待定系数法, 可得线性关系 $\log \Phi(\Delta G - \Delta G_R) = A + \alpha(\Delta G - \Delta G_R)$. 取不同变温速率下的实验数据进行处理, 以 $\log(\Delta G - \Delta G_R)$ 作横坐标, $\log \left(\frac{Q^{-1}\omega}{\mu\dot{T} \frac{dF}{dT}} \right)$ 作纵坐标, 其中 μ 以相对模量 f'/f_0 代入 (f_0

为初始频率), 逐步改变待定参数 ΔG_R , 即可由最小二乘法求得偏差为极小的 α 值及相应的参数 ΔG_R 值. 所有数据处理工作均由 HP-85 型计算机完成. 图 7 给出了退火试样 I/C 相变时的 $\log \Phi(\Delta G - \Delta G_R) - \log(\Delta G - \Delta G_R)$ 关系曲线. 由图可见具有较好的线性关系, 所得计算结果列于表 1.

表 1 界面动力学计算结果

	斜率 α	阻力 ΔG_R , (cal/mol)	偏差 S/S_1
I/C	-2.02	4.8 ± 0.5	0.05
C/M	-2.1	8.0 ± 0.5	0.08
M/P	-1.95	10.0 ± 0.5	0.05

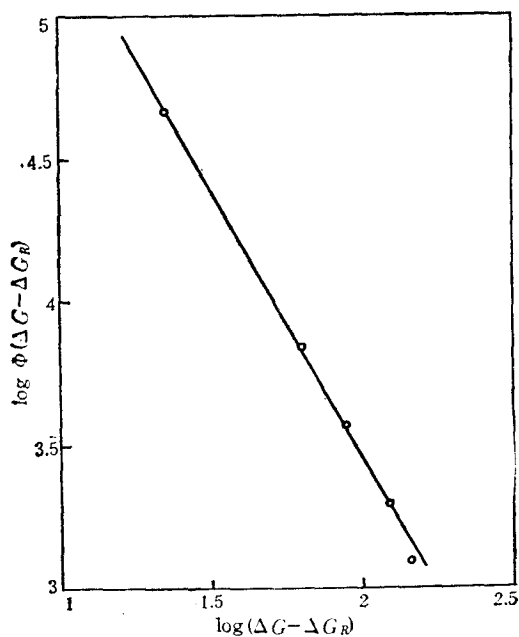


图 7 线性回归曲线

用同样的方法对训练后试样的可逆 I/C 相变进行处理, 得到 $\Delta G_R = 1.5 \pm 0.5 \text{ cal/mol}$.

在实验误差范围内, 取 $\alpha = -2$, 有

$$\Phi(\Delta G - \Delta G_R) = \Delta G^* / (\Delta G - \Delta G_R)^2, \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \text{故} \quad \log V &= \log \varphi(\Delta G') = \int \Phi(\Delta G - \Delta G_R) d\Delta G' \\ &= -\frac{\Delta G^*}{\Delta G - \Delta G_R} + C. \end{aligned}$$

由此得到

$$V = V^* \exp(-\Delta G^* / \Delta G - \Delta G_R). \quad (8)$$

这就是变温马氏体相变过程中界面运动动力学关系式, 它对应于文献[6]中 $\alpha = -2$, $\beta = 0$.

的情形. 其中 V^* 为特征速率, ΔG^* 为动力学参数, 相当于界面以 $V = V^*/e$ 的速率运动时所需的有效驱动力. 这一关系类似于面心立方金属中的位错动力学关系^[9].

将(8)式代入(1)式后得到

$$Q^{-1} = \frac{n^2}{2} \cdot \frac{\mu \Delta G^*}{(\Delta G - \Delta G_R)^2} \cdot \frac{dF}{dT} \cdot \frac{\dot{T}}{\omega}. \quad (9)$$

上式即为相变过程中界面运动引起内耗的表达式.

3. “软模”效应

由于一般马氏体相变过程都伴随有模量软化现象发生, 为了考查其在相变中的作用, 我们分析了不同 $\dot{T}$ 下模量变化情况. 图 8 所示为相对模量变化的极小值 $\Delta M/M$ 与 $\dot{T}/\omega$ 关系曲线. 由图可见相变过程的模量极小, $\Delta M/M$ 与 $\dot{T}/\omega$ 亦非很好的线性关系.

考虑到相界面在振动应力作用下运动引起的非弹性应变 ϵ'' , 将引起附加的模量亏损. 由界面动力学模型可得^[8]

$$\Delta M/M = n\epsilon_0 \cdot \frac{d \log \varphi(\Delta G - \Delta G_R)}{d\Delta G'} \cdot \frac{dF}{dT} \cdot \mu \dot{T}/\omega \quad (10)$$

式中 ϵ_0 为相变应变. 将图 8 与(10)式比较可知, $\Delta M/M$ 中与 $\dot{T}/\omega$ 有关部分的“软模”是相变时界面运动引起的附加模量亏损. 但当曲线外推到 $\dot{T} = 0$ 时, $\Delta M/M$ 并不为零, 说明 $\Delta M/M$ 不是全部来自界面运动的贡献. 此外, 由图 4 亦可看出, 相变时的模量极小值一般都出现在内耗峰的前面, 这是声子模软化的表现, 与 Clapp 等人^[14]的软模成核理论相符.

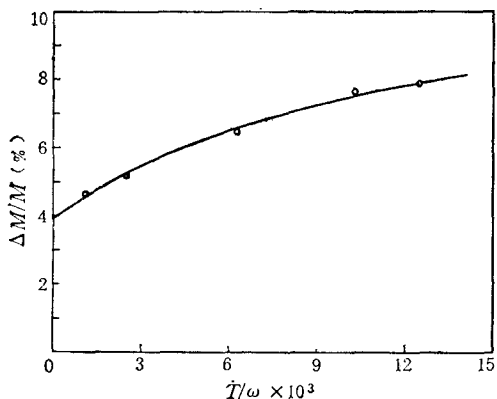


图 8 相对模量极小 $\Delta M/M$ 与 $\dot{T}/\omega$ 关系

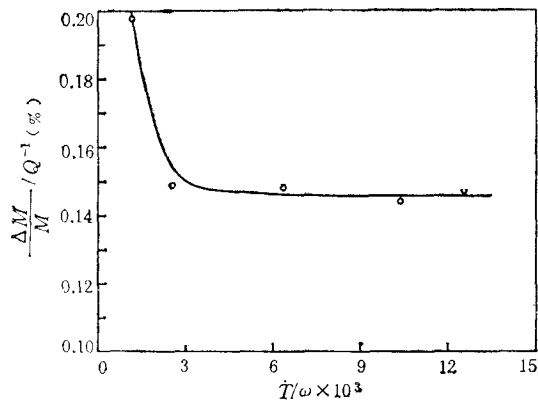


图 9 $\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1} - \dot{T}/\omega$ 关系曲线

图 9 给出 $\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1} - \dot{T}/\omega$ 关系曲线, 可以看出它并非一平行于横轴的直线, 亦即 $\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1}$ 不是常数. 如果相变过程的模量软化完全来自界面的贡献, 则由(1)式及(10)式可得

$$\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1} = 2\varepsilon_0/n, \quad (11)$$

即 $\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1}$ 为一常数. 这与本文结果不符, 由此也说明了相变过程有声子模软化现象发生.

如考虑到声子模软化的贡献 $\frac{\Delta M'}{M'}$, (11)式变为

$$\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1} = \frac{2\varepsilon_0}{n} + \frac{\Delta M'}{M'} / \left[\frac{n^2}{2} \cdot \mu \frac{d \log \varphi(\Delta G')}{d \Delta G'} \cdot \frac{dF}{dT} \right] \cdot \frac{1}{\dot{T}/\omega}. \quad (12)$$

即随着 $\dot{T}/\omega$ 的变化, $\frac{\Delta M}{M} / Q^{-1}$ 将趋于一稳定值 (见图 9), 这一稳定值就是 $2\varepsilon_0/n$.

四、讨 论

1. 由前面得到的界面动力学模型(9)式, 可以很好地解释马氏体相变过程中内耗的三个主要特征. 通过界面动力学模型与实验结果的对比, 还可以求得界面动力学关系式及相应的动力学参数 ΔG_R 等. 由界面动力学模型亦可解释内耗峰值 Q_p^{-1} 与 $\dot{T}/\omega$ 的正变关系, 从(1)式可以看出, 由于 $d \log \varphi(\Delta G')/d \Delta G'$ 不为常数, 故 Q_p^{-1} 与 $\dot{T}/\omega$ 并非线性关系.

由于马氏体相变的实际过程相当复杂, 相界面的微观结构尚不清晰, 目前还难以直接对相界面运动的微观过程进行描述, 而只能从唯象理论出发, 对相变过程及相界面运动动力学过程进行探讨. 相变阻力 ΔG_R 主要来源于相界面间的交互作用及界面与晶体缺陷 (孪晶、位错等) 间的交互作用等. 弄清楚相变阻力的机制, 积累 ΔG_R 随各种结构参数等的变化规律, 将有利于对相变动力学的深入研究.

2. 本文所得结果表明, 马氏体相变过程中模量的“软化”可以有两种来源, 一种是声子模的软化, 另一种是界面运动引起的附加模量亏损, 二者对相变时的“软模”效应都有贡献, 且由图 9 可知二者的大小相近. 马氏体相变时声子模的软化已为大量实验所证实, Clapp 等人^[14,15]提出的热弹性马氏体软模成核理论就是以此为依据的. 而对相变时界面运动引起附加的模量亏损则较少讨论. 利用界面动力学模型, 可以将这两种“软模”效应的贡献区分开^[8,10-12]. 这对判明界面运动在相变过程中的作用以及进一步发展一级相变中的软模理论具有一定意义.

3. 目前, 关于变温马氏体相变过程内耗的机制, 有好几种理论, 如 Postnikov 的涨落内耗机制^[16]、Delorme-De Jonghe 模型^[6]及界面动力学模型^[8]等. 三者所得结果极为相似, 都能解释变温内耗峰的主要特征, 只是出发点不同而已. Delorme 模型可以看成是 Postnikov 模型的推广, 从相变时非弹性应变项的引入导出内耗的表达式. 界面动力学模型直接从相变时相界面的运动过程出发, 认为相变过程内耗与相界面的性质密切相关, 是相界面在粘滞性阻力作用下运动引起的粘弹性内耗, 并能用统一的界面观点解释相变过程的“软模”现象. 这样, 通过相变过程内耗的研究, 不但可以探求相变的阻尼机制, 还可以对相变时界面的动力学行为进行研究, 使内耗测量成为研究相变动力学的一种有效方法.

4. 由于形状记忆过程实际上就是热弹性马氏体相变过程中相界面和畴界面在应力和温度的复合作用下的定向运动过程, 形状记忆效应必然与相界面的动力学性质密切相关。因此, 通过形状记忆过程中界面运动动力学的研究, 可以揭示形状记忆效应的物理本质。这方面的结果将另行报道^[13]。

参 考 文 献

- [1] 王业宁等, 南京大学学报(自然科学版) **2**(1963), 1.
- [2] R. R. Hasiguti, K. Iwasaki, *J. Appl. Phys.*, **39**(1968), 2182.
- [3] O. Mecier and K. N. Melton, *Acta Met.*, **27**(1979), 1467.
- [4] 王业宁、邹一峰、张志方, 物理学报, **29**(1980), 1535.
- [5] 马应良、葛庭燧, 物理学报, **20**(1964), 72.
- [6] J. F. Delorme *et al.*, *J. de Phys.*, **32**(1971), C2-101.
- [7] 张进修、李燮均, 中山大学学报(自然科学版), (2)(1985), 45.
- [8] 张进修、李燮均, 物理学报, **36**(1987), 847.
- [9] 张进修, *J. de Phys.*, **42**(1981), C5-399; 中山大学学报(自然科学版), (3)(1982), 1.
- [10] L. Z. Luo and J. X. Zhang, *J. de Phys.*, **46**(1985), C10—649.
- [11] D. M. Lin, J. X. Zhang and L. Z. Luo, *J. de Phys.*, **46**(1985), C10—477.
- [12] J. H. Li and J. X. Zhang, ICIFUAS-8, 1985, 6, Urbana (USA).
- [13] L. Z. Luo and J. X. Zhang, Proceedings of SMA-86, China Academic Pub., (1986), p. 115.
- [14] P. C. Clapp, *Phys. Stat. Sol.*, **57b**(1973), 561.
- [15] G. Guenin, P. F. Gobin, *Met. Trans.*, **13A**(1982), 1127.
- [16] V. S. Postnikov *et al.*, *Nuov. Cim.*, **33B**(1976), 324.

AN INTERNAL FRICTION STUDY OF INTERFACE DYNAMICS IN THE PROCESS OF PHASE TRANSFORMATIONS OF NiTi ALLOY

ZHANG JIN-XIU LUO LAI-ZHONG

(Department of Physics, Zhongshan University, Guangzhou)

ABSTRACT

The Martensitic (MP) and incommensurate/commensurate (*I/C*) phase transformations during the athermal process of NiTi alloy were studied by the measurements of internal friction, elastic modulus and electric resistance simultaneously. The IF behaviour in the processes of MP and *I/C* phase transformations are nearly the same and is associated with the motion of phase interface under the action of phase transformation driving force. Starting with the interface dynamics model, the interface dynamic behaviour of MP and *I/C* transformations were studied. An explicit functional relationship of the interface dynamics in the process of martensitic transformation was obtained as $V = V^* \exp(-\Delta G^*/\Delta G - \Delta G_R)$ and the expression for IF during the process of phase transformation as $Q^{-1} = (n^2/2) \times (\mu \Delta G^*/(\Delta G - \Delta G_R)^2) dF/dT \cdot \dot{T}/\omega$. The transformation resistance force ΔG_R is the order of 10 cal/mol. The "soft mode effect" during the transformation process was discussed, and it was shown that the softening of phonon mode and the modulus defect associated with interface motion coexist in the processes of martensitic and *I/G* phase transformations.