

NiTi 单晶的超声衰减研究*

梁学磊¹, 沈惠敏¹, 王业宁¹, REN X², OTSUKA K², SUZUKI T³

(1. 南京大学固体微结构物理国家重点实验室, 南京 210093;

2. Institute of Materials Science, University of Tsukuba, Japan;

3. Tsukuba Institute of Science and Technology, Japan)

摘 要: 用超声衰减法和 DSC 法研究了 NiTi 合金在 230~380 K 温区的相变行为, 观测到 4 个与相变有关的内耗峰。

关键词: NiTi 合金; 单晶; 超声衰减

中图分类号: TG115.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) S1-0238-02

NiTi 合金具有许多非凡的机械和物理性能, 如形状记忆效应、超弹性和高阻尼性等等. 这些性能都起源于它的 B2 (立方) $\rightarrow$ B19' (单斜) 马氏体相变及其变体界面的动性. 利用内耗手段来研究 NiTi 合金的相变已经有很多报导, 但大多数研究都是在多晶样品中而且是在低频下进行的^[1,2], 这主要是由于 NiTi 单晶样品的生长非常困难. 然而利用单晶样品可以克服晶界等因素的影响, 得到更清晰的信息, 因此有必要研究单晶样品的内耗行为. 本文首次报道了 NiTi 单晶样品的超声衰减研究.

1 实验方法

用 Modified Bridgman 方法制备了 Ni₅₀Ti 单晶, 切割方向为 $\langle 100 \rangle$ 方向, 样品大小为 6.41 mm $\times$ 3.89 mm $\times$ 2.83 mm. 样品封入真空石英管后在 1 273 K 热处理 1 h 后淬入冰水. 相变温度由 DSC 测定. 超声衰减用脉冲回波法在 Matec series 6600 上测量. 换能器是美国 Valpey Fisher Co. 生产的石英换能器, 频率为 10 和 30 MHz (纵波). 换能器用 N. V. DOW. CRONING S. A. Belgium 生产的真空脂粘在样品表面. 温度变化范围为 400~220 K (降温测量).

2 结果与讨论

图 1 是第一次热循环的 DSC 结果, 可以得出相变温度为 $M_s = 278$ K, $M_f = 259$ K, $A_s = 287$ K, $A_f = 311$ K. 图 2 是 $[001]$ 纵波超声衰减的测量结果. 从图上看有 4 个衰减峰 P_M , P_B ,

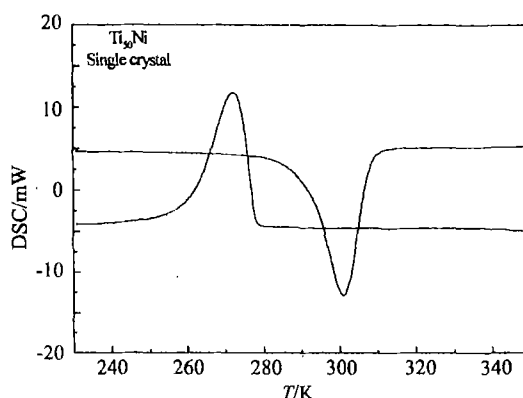


图 1 NiTi 单晶淬火后第一次热循环的 DSC 结果

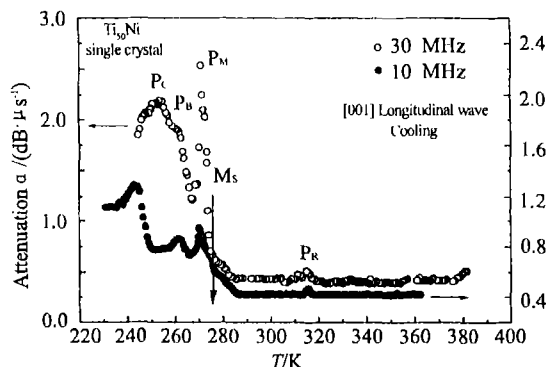


图 2 NiTi 单晶的 $[001]$ 纵波降温测量的超声衰减结果

P_C 和 P_R .

P_M 位于 268 K, 和 DSC 的峰温对应. 该峰从 276 K 突然上升, 也与 DSC 测量的 M_s 点几乎相同. 考虑到 DSC 测量的变温速率 (5 K/min) 比超声衰减测量的快 (0.5 K/min), 所以可以认为此细微差异是由于不同的变温速率引起的. 另

* 收稿日期: 2000-12-30; 作者简介: 梁学磊 (1974-), 男, 博士研究生.

外, P_M 的峰温与测量频率无关, 而峰高与频率有关, 这是马氏体相变内耗的特征. 所以 P_M 是由 $B2 \rightarrow B19'$ 马氏体相变所导致.

P_B 的峰值仍然位于相变温度区间, 而且几乎不随测量频率移动. 是什么原因导致这个衰减峰呢? 我们知道, NiTi 合金经历一级相变, 相变过程中不仅有相界面的产生 (这是 P_M 产生的原因), 而且产生铁弹畴, 畴界密度随温度发生变化 (这类似于二级相变的畴的粗化过程) 也会产生一个损耗峰. Wang 等^[3~7] 深入研究了 LNPP, TGS, KDP, TiNiCu, CuAlZnMn 中的畴界引起的损耗峰, 并给出了令人信服的证据. 他们发现畴界引起的损耗峰随频率升高而向高温方向移动, 但其弛豫时间遵守 $\tau = \tau_0 e^{-B/(T_c - T)}$ 关系, 而非 Arrhenius 关系, 这是畴界粘滞运动的特征. 由图可以看出 P_B 也是从 M_s 开始, 并且迭加到 P_M 上. 这很容易理解, 因为只有从 M_s 开始畴界的粘滞运动才具有可能性. 所以我们把 P_B 归结与畴界的粘滞运动所引起. 由于测量频率很高 (MHz), 峰温随频率的移动已经很小, 再加上温度测量的误差 (± 1 K), 所以造成 P_B 看上去似乎不随频率移动.

P_C 位于相变完全结束的温度, 而且随着频率的升高明显向高温方向移动. 这类似与以前报道的低频下 200 K 的弛豫峰^[1~2]. 我们计算了该峰的激活能为 0.53 eV, 与 Zhu 等^[2] 的报道完全相同. 因此, 我们认为此峰就是以前报道的低频下位于 200 K 的弛豫峰, 随着测量频率提高到 MHz 范围, 该峰从 200 K 移动到现在的位置.

Matsumoto 等^[8] 曾研究过近等原子比的 NiTi 多晶样品的超声衰减 (10 MHz, 纵波), 得到了和我们非常相似的结果 (见图 3). 由于他们只做了一个频率, 所以没有认识到图 3 中的宽峰实际上包含了 P_B 和 P_C 两个峰.

图 2 中还有一个小峰 P_R 位于 M_s 之上, 而且峰位也不随测量频率的变化而移动, 符合相变峰的特征. 我们知道 NiTi 合金经过多次热循环或时效之后会出现一个 R 相变^[9], 该相变也会导致一个衰减峰的出现. 由于该样品在超声衰减测量之前已经经过多次热循环, 所以 P_R 应该是由于 R 相变所引起.

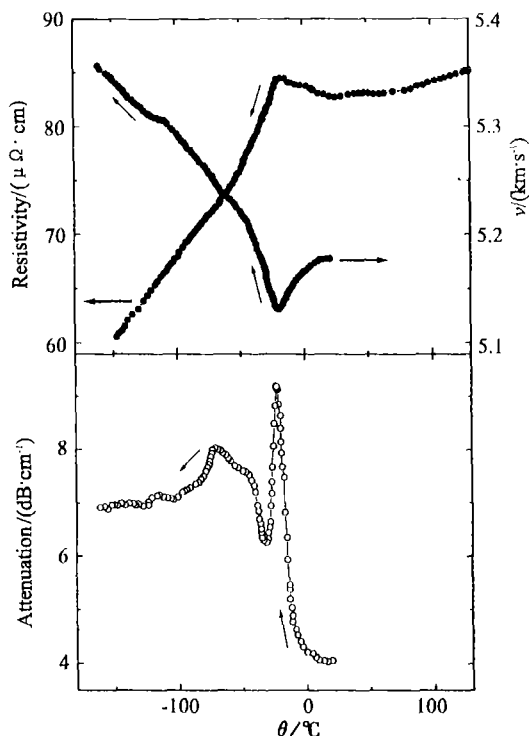


图3 Matsumoto 的 NiTi 多晶超声衰减结果

参考文献:

- [1] HUSIGUTI R R, IWASAKI K. J Appl Phys, 1968, 39: 2182.
- [2] ZHU J S, SCHALLER R, BENOIT W. Phys Lett, 1989, A141:177.
- [3] WANG Y N, SUN W Y, CHEN X H, et al. Phys Stat Sol (a), 1987, 102:279.
- [4] HUANG Y N, WNAG Y N, SHEN H M. Phys Rev, 1992, B46:3290.
- [5] HUANG Y N, LI X, DING Y, et al. Phys Rev, 1997, B55:16159.
- [6] WANG Y N, SHEN H M, HUANG Y N, et al. J Phys IV, 1996, C8:505.
- [7] LIANG X L, ZHANG Z F, LIU Q, et al. J Phys: Condens Matter, 1999, 11:9659.
- [8] MATSUMOTO H, ISHIGURO H. J Less-Comm Met, 1988, 144: L39.
- [9] WANG F E, DESAVAGE B F, BUEHLER W J, et al. J Appl Phys, 1968, 39:2166.