

镍中运动畴壁引起的一个Maxwell型内耗峰

张进修 曾文光 伍建民 徐根华

(物理学系)

为了研究运动畴壁的动力学特征,我们在以一定的速率 \dot{H} 增大磁场强度的磁化过程中,测量了纯Ni中运动畴壁所引起的内耗行为。由下面将要讨论到的三个特点,表明这种内耗是一种运动畴壁所引起的Maxwell型粘弹性内耗。

试验用化学纯Ni丝(99.9%),截取成长为250mm,直径为1.6mm的试样,密封后经800℃保温一小时,炉冷。测量内耗的设备,是一台以多层漆包线制成并可通水冷却的螺旋管代替加热炉的正扭摆;用一台可线性增大电压的直流稳压电源来提供直流磁化场所需的电流;用一支在水平方向固定于横摆杆上的八类磁钢代替部分摆锤,当扭摆振动时,它在两个互相平行的线圈中摆动,引起交变感生电动势,用 $x-y$ 函数记录仪记录衰减曲线,从而计算内耗的振幅效应和内耗值。这样测得的内耗值与通常光点法所得的结果相同,并可以防止试样磁致伸缩引起的零点漂移,获得对称的正弦衰减曲线。另外,每次测量后都进行了充分退磁以保证初始条件相同。

图1给出了测量频率为1.27Hz时稳定磁场以及以不同的 \dot{H} 增大磁场时,纯Ni的内耗一场强($Q^{-1}-H$)曲线。其中a,b,c,d分别是在 $\dot{H}=0, \dot{H}=13.1, \dot{H}=27.0$ 和 $\dot{H}=54.5$ 毫奥/秒(mOe/s)下,二至四次的测量结果。可见,在 $\dot{H}=0$ 时, $Q^{-1}-H$ 曲线上有一个较小的内耗峰,与Sizov在Ni-0.5% Mn中的结果相似^[1]。当 $\dot{H} \neq 0$ 时, $Q^{-1}-H$ 曲线随 \dot{H} 的增大而升高且也出现峰值,但移向高场并变得愈来愈不明显。

图2给出了测量频率为0.68Hz时(a) $\dot{H}=0$ (b) $\dot{H}=13.1$ 以及(c) $\dot{H}=27.0$ 毫奥/秒时的 $Q^{-1}-H$ 曲线,可见它们亦随 \dot{H} 的增大而升高。将(b)与图1比较可知,当 $\dot{H}=13.1$ 毫奥/秒时,随着测量频率的降低,内耗增大。而且,测量频率不同时, $\dot{H}=0$ 的曲线亦稍有不同,图2的曲线a要比图1的曲线a高。这说明当测量频率为1Hz量级时,稳定磁场下所测得的内耗还不具有完全的静滞特性。

为了进一步研究稳态内耗($\dot{H}=0$)与动态内耗($\dot{H} \neq 0$)的差别,我们测量了在峰值附近内耗的振幅效应,所得结果如图3所示。由图可见,稳态内耗随着应变振幅的增大而升高,而动态内耗则与测量振幅无关,可见产生这两种内耗的机制不同。为了反映出动态内耗与稳态内耗的差别,我们在图1和图2的测量中选用了较小的应变振幅($5 \times 10^{-8} - 2.5 \times 10^{-9}$)。(测量内耗的应变振幅范围已给出如图3。)

图4给出了以 $\dot{H}=27$ mOe/s的速率增大磁场强度至 $H \sim 3$ Oe时,使 $\dot{H}=0$ 再继续 在稳态磁场下所测得的结果($f=1.27$ Hz)。图中的虚线是图1中的曲线a和c。由图可见,在

初始部分的动态磁场下,测得的内耗值,均基本上落在图1中 $\dot{H} = 27.0\text{mOe/s}$ 的曲线上;到 $H \approx 3\text{Oe}$ 时突然使 $\dot{H} = 0$ 而保持 H 不变,以后,逐次增加 H 所测得的内耗值均落在 $\dot{H} = 0$ 的稳态 $Q^{-1}-H$ 曲线上。因此,动态过程的大内耗值是在磁场增大的过程中引起来的。

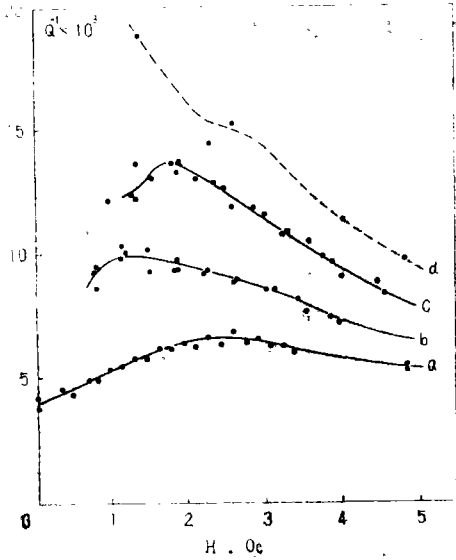


图1 测量频率为1.27Hz时,纯镍在稳定磁场($\dot{H} = 0$)以及动态磁场时的 $Q^{-1}-H$ 曲线。(a) $\dot{H} = 0$,两次测量;(b) $\dot{H} = 13.1\text{mOe/s}$,三次测量;(c) $\dot{H} = 27.0\text{mOe/s}$,四次测量;(d) $\dot{H} = 54.5\text{mOe/s}$,两次测量。

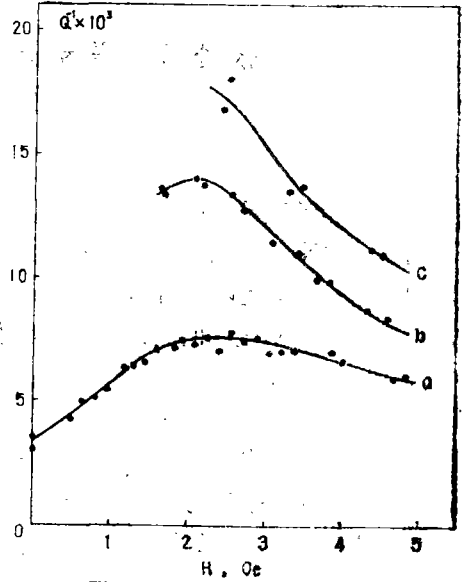


图2 测量频率为0.68Hz时,纯镍在(a) $\dot{H} = 0$ (b) $\dot{H} = 13.1\text{mOe/s}$ 以及(c) $\dot{H} = 27.0\text{mOe/s}$ 时的 $Q^{-1}-H$ 曲线。

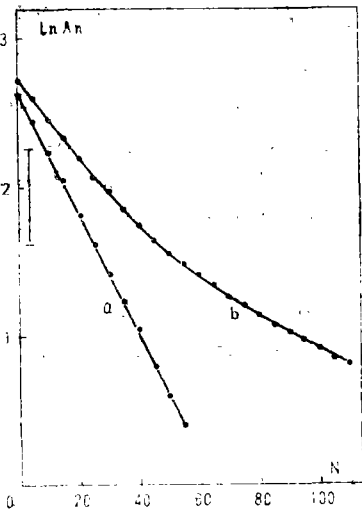


图3 纯镍在稳定磁场和动态磁场时峰值内耗处的振幅效应, ($f = 1.27\text{Hz}$) (a) $\dot{H} = 27.5\text{mOe/s}$, $H \sim 2\text{Oe}$; (b) $\dot{H} = 0$, $H \sim 2.5\text{Oe}$ 。

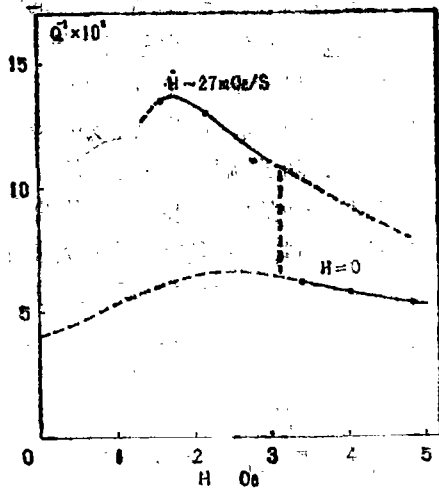


图4 当 \dot{H} 由 27mOe/s 突然变为0时,纯镍内耗的变化($f = 1.27\text{Hz}$)。

已经知道,多晶纯Ni的饱和磁化强度在100Oe以上,因此,当 H 不大时,主要是畴界的可逆运动使相对于磁场处于有利取向的磁畴长大的过程^[2]。 \dot{H} 不同时,畴界的运动速度不同且随 \dot{H} 的增大而增大。图4的结果表明,当以 $\dot{H} \approx 27 \text{mOe/s}$ 的速度增大磁场使试样磁化时,畴界在外场驱动力作用下以一定的平均速度 \bar{V} 运动并引起较大的内耗;一旦使 $\dot{H} = 0$,并保持 H 不变,畴界就保持在该 H 所要求的平衡位置, $\bar{V} = 0$,此时 Q^{-1} 的内耗立即降到稳态过程的内耗值。可见,动态过程的大内耗是由于运动畴界所引起的。

如果在畴界单向运动过程中施加一交变应力,由于磁致伸缩的逆效应提供了外力与畴界运动的耦合,因此有一附加的交变驱动力作用在畴界上而改变畴界运动速度。设它的平均速度 \bar{V} 是驱动力 ΔG 与阻力 ΔG_R 之差的函数 $\varphi(\Delta G - \Delta G_R)$,则可求得磁化过程中扭转振动内耗为^[3]

$$Q^{-1} = C' \frac{d \ln \varphi(\Delta G - \Delta G_R)}{d(\Delta G - \Delta G_R)} \cdot M \frac{dB}{dH} \dot{H} / \omega \quad (1)$$

这里 C' 是与耦合系数有关的常数, M 是材料的切变模量, B 是磁感应强度。这是一种 Maxwell 型粘弹性内耗。它有三个特点:(1) $Q^{-1} \propto \dot{H} / \omega$;(2) Q^{-1} 与应变振幅无关;(3)一旦 $\dot{H} = 0$, Q^{-1} 立即降低到它的背景值。

如果利用图1和图2的数据作出运动畴界所引起的内耗($Q_{\dot{H}}^{-1} - Q_0^{-1} \sim \dot{H} / \omega$ 曲线(此处 $Q_{\dot{H}}^{-1}$ 为动态过程的内耗, Q_0^{-1} 为稳态内耗),则可看到,在本实验条件下, ($Q_{\dot{H}}^{-1} - Q_0^{-1}$)与 \dot{H} / ω 有正变关系。因此,(1)式表示的模型能很好地解释图3,4所得的实验结果。

如果通过适当的实验程序测出(1)式的 Q^{-1} 、 ω 、 M 、 \dot{H} 和 dB/dH ,则可得到 $\bar{V} = \varphi(\Delta G - \Delta G_R)$ 的函数形式以及其中的系数,这为研究畴界动力学以及它与宏观性能(B_r, H_c 等)之间的关系,提供有用的信息。

参 考 文 献

- [1] V.P.Sizov. ДАН, 89 (1953), 427.
- [2] C.Kittle, 固体物理导论, 科学出版社, 1979, p. 535.
- [3] 张进修、李燮均, 中山大学学报(自然科学版), 本期。