

非晶态磁性材料居里温度的测量

詹文山 沈保根 赵见高

(中国科学院物理研究所)

测量居里温度的方法很多^[1], 通常是测量对应于自发磁化强度消失时的温度. 但由于非晶态材料结构是无序的, 测量遇到一定困难. 本文根据霍普金森效应起始磁导率在居里温度突然消失的原理, 介绍测量非晶态磁性材料居里温度的方法和装置. 该装置不仅操作方便, 快速准确, 而且结构简单, 容易制作, 经济实用.

1. 测量原理

磁性材料的起始磁导率 μ_i 与材料的各向异性常数 K 和自发磁化强度 I_0 有关^[2], 即表示为

$$\mu_i = A \frac{I_0^2}{K}, \quad (1)$$

式中 A 是常数, 它与材料的结晶构造、磁性物质的种类有关, 但是 μ_i 正比于 I_0^2 , 反比于 K 的关系对各种材料都是成立的. (1) 式中的 K 不仅表示磁晶各向异性, 而且也表示形状和应力等各向异性, 是广义各向异性的概念. 各向异性常数 K 随温度升高的减少要比 I_0 的减少快得多. 因而, I_0^2/K 在居里温度有一个极大值, 然后急剧下降到零. 这就是通常所说的霍普金森效应. 对于软磁材料不论是金属、非晶态材料还是铁氧体材料, 由于起始磁导率高, 该效应显著, 更适合用该原理来测定居里温度.

2. 测试设备的设计、制作和应用实例

利用霍普金森效应测量居里温度的方法实际上就是测量起始磁导率随温度的变化关系. 由于许多材料的居里温度一般都比较低, 例如铁的居里温度是 1042K, 测试线圈和加热炉的设计都必须仔细考虑. 图 1 表示测试线圈系统的原理图. 探测线圈 3 与补偿线圈 4 是一组完全对称地绕制在石英管上并反向串联的线圈. 为了防止线圈在高温下被烧坏, 我们采用直径为

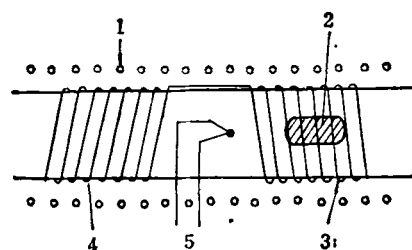


图 1 测试线圈的原理图

1. 激励线圈; 2. 样品; 3. 探测线圈;
4. 补偿线圈; 5. 电偶

0.1mm 的镍铬丝绕制探测线圈. 在绕制时用一根直径为 0.15 mm 的铜线与镍铬丝并绕, 线圈骨架为直径 8 mm 的石英管, 绕 60 匝约 15 mm 长. 然后间隔 16 mm, 反向再绕一个完全一样的线圈作为补偿线圈. 拆去铜线, 然后用高绝缘的高温水泥均匀涂敷在线圈上, 起到固定和绝缘的作用. 干燥后, 再用 0.2mm 直径的镍铬丝, 用同样方法绕 7 cm 长的激励线圈. 温度测量采用线性好的镍铬-镍硅电偶.

图 2 为测试方框图. 加热炉是一个关键部

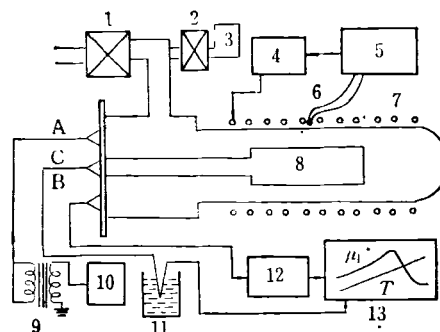


图 2 测试方框图

- 1, 2. 真空阀门; 3. 氩气袋; 4. 加热功率源; 5. 温度程序控制器; 6. 控温电偶; 7. 加热线圈; 8. 测试线圈; 9. 耦合变压器; 10. 信号源; 11. 冰点; 12. 交直流变换器; 13. X-t 记录仪; A. 激励线圈; B. 测温电偶; C. 探测线圈

件。它是用直径为 0.3 mm 的康钛丝双线并绕在石英管上构成无感的加热线圈。加热线圈的线间距为 2—3 mm，用高温水泥固定在石英管上。为了使加热炉能线性升降温，加热炉的热惰性要尽可能小。因此，加热炉不用任何保温材料，仅用一个炉壳罩上，防止空气流动引起的温度起伏。为了保护样品不被氧化，样品室需抽真空，然后通入高纯氩保护。镍铬-镍硅控制电偶安装在加热线圈的中间，紧靠加热丝，以保证控温精度。用温度程序控制器控制加热炉的温度，变温速率为每分钟 0.5—80K，共八档。

测试线路是由信号源、交直流变换器和记录仪组成。测试信号为 5kHz，输出电压为 1—2V。在激励线圈中产生约 10e 的交流磁场。为提高灵敏度，可以用锁相放大器代替交直流变换器，或在交直流变换器前加一级前置放大器。

由于该装置是利用霍普金森效应，故不需要测量磁导率的绝对值，因此不需要对输出信号校准，只要检测出对应于起始磁导率急剧下降的温度。我们对纯金属 Ni 做了实验（见图 3）。信号开始下降到完全消失的温度间隔 ΔT 仅有 1.2 度。根据测试原理，居里温度应当是 $d\mu_i/dT$ 最大值对应的温度，也就是 $d^2\mu_i/dT^2$ 等于零的温度。该温度接近输出电压降到一半时

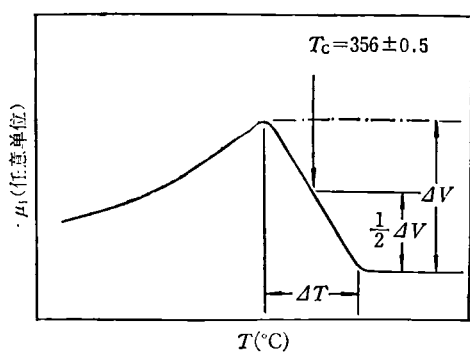


图 3 纯镍样品居里温度的测试结果 ($\Delta T = 1.2$ 度)

的温度。为了方便，我们采用 $1/2 V_{\text{输出}}$ 对应的温度为居里温度。由于 ΔT 很小，该设备温度读数的分辨率为 ± 0.1 度。用该设备决定居里温度的相对误差小于 ± 0.5 度，仔细的操作可以达到 ± 0.1 度左右。 ΔT 随材料的不同而异， ΔT 越小，精度越高。

图 4 表示用两种方法决定非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$ 合金居里温度的情况。实验曲线 I 是用磁天平在 12000Oe 磁场下测量样品的饱和磁化强度 σ_s 随温度的变化，然后用 σ_s^2 与 T 关系曲线决定居里温度。曲线 II 是用本装置测量的结果。两种方法得到居里温度的差值 ΔT_c 为 10—60K，如图 4 所示。大量的实验结果表明，饱和磁化强度越高，差值越小。非晶态 FeB 合金的 ΔT_c 仅有 10K。

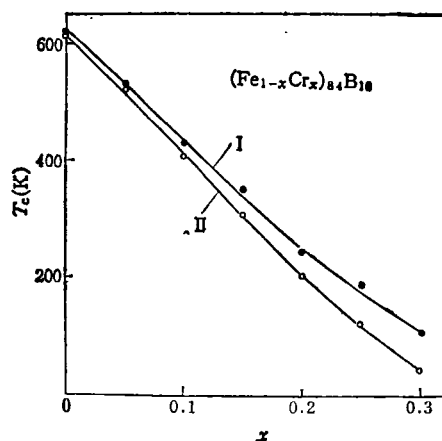


图 4 非晶态 $(\text{Fe}_{1-x}\text{Cr}_x)_{84}\text{B}_{16}$ 合金的居里温度与成分的关系

●磁天平测量的结果；○本装置测量的结果

参 考 文 献

- [1] K. P. Belov, Magnetic Transitions, Consultants Bureau, New York, (1961), 48.
- [2] 太田惠造, 磁気工学の基礎 II, 共立出版株式会社, 東京, (1973), 294.