

中华人民共和国国家标准

软磁合金交流磁性能测量方法

Soft magnetic alloys—Measuring
method for alternative magnetic properties

GB 3658—90

代替 GB 3658—83

1 主题内容与适用范围

本标准规定了用麦克斯韦电桥在起始磁化区测量弹性磁导率和用修正海氏电桥在中、高磁感应强度范围内测量比铁损的定义、测量装置、测量步骤及计算方法。

本标准适用于由软磁合金(铁-镍、铁-铝等)带材制备的环形试样,在环境温度 $10\sim 35^{\circ}\text{C}$ 、频率 $60\sim 10\,000\text{Hz}$ 、试样的次级感应电压波形畸变不超过3%的条件下进行测量。

不大于本标准规定的测量误差时,允许采用其他测量方法。如有争议,以本标准规定的方法为准。

2 定义和符号

2.1 弹性磁导率

复数磁导率的实数部分,用符号 μ_1 表示。

2.2 比铁损

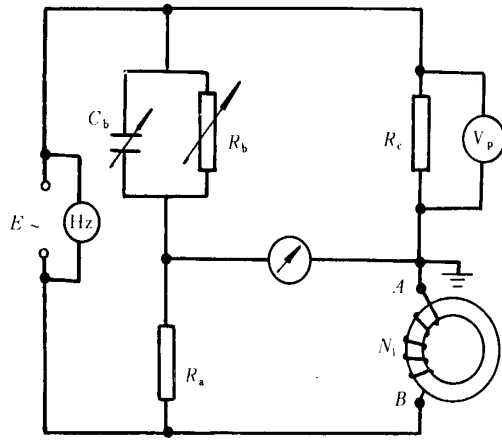
单位质量的试样总的功耗,用符号 P_s 表示。

3 测量原理

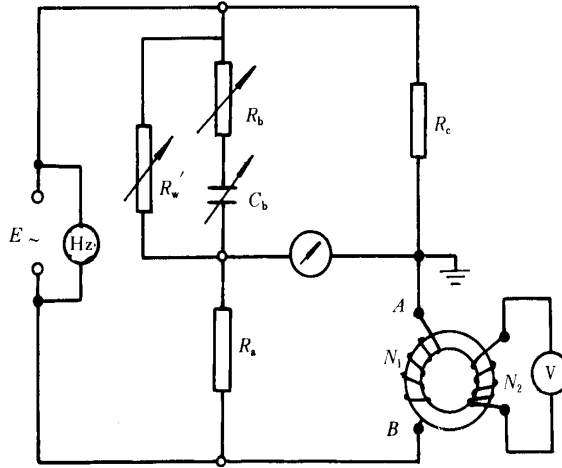
3.1 当测量试样的弹性磁导率时,把含有试样的线圈等效成一个电阻 R_s 和一个电感 L_s 的串联。用麦克斯韦电桥测量 L_s 的数值,再计算出试样的弹性磁导率 μ_1 。

当测量试样的比铁损时,把含有试样的线圈等效成一个电阻 R_p 和一个电感 L_p 的并联。用修正海氏电桥测量 R_p 的数值,再计算出试样的比铁损 P_s 。

3.2 麦克斯韦电桥和修正海氏电桥的原理线路如图1所示。



a 麦克斯韦电桥



b 修正海氏电桥

图1 测量原理线路图

R_c —串联电阻； R_s —比例电阻； R_b —平衡电阻； R_w —补偿电阻； C_b —平衡电容；
 ⊗—指零仪； $E \sim$ —交流磁化电源； V_p —峰值电压表； V —交流电压表； H_z —频率计；
 N_1 —激磁绕组； N_2 —次级绕组

3.3 在一定的磁场强度峰值下测量试样的弹性磁导率，用接在串联电阻 R_c 两端的峰值电压表监视磁场强度是否达到预定值。

在一定的磁感应强度峰值下测量试样的比铁损，用接在次级绕组两端的交流电压表来监视磁感应强度是否达到预定值。

4 试样

4.1 对于厚度不小于 0.15 mm 的带材，采用环形试样，其内直径为 32 mm，外直径为 40 mm，叠厚 5~7 mm。

对于厚度小于 0.15 mm 的带材，沿轧制方向取宽度为 10 mm 的条，经涂绝缘层后卷绕成内直径为 25 mm，外直径为 32 mm 的圆环。

4.2 试样应平整，无毛刺和裂纹等缺陷。

4.3 试样在进行热处理之前，用精度 0.02 mm 的卡尺测量试样的内直径和外直径，用感量为千分之一

克的天平称量试样的质量。

4.4 制备好的试样,首先要进行热处理。经热处理后的试样,不应再受到应力(冲击、压缩、拉伸、弯曲、振动等)的作用。

4.5 将热处理后的试样装入由非磁性绝缘材料制成的试样盒中。对于没涂绝缘层的试样,装盒时每片之间要垫绝缘纸。在试样盒外均匀地绕上次级绕组 N_2 ,然后再绕上激磁绕组 N_1 。

5 测量装置

5.1 麦克斯韦电桥

5.1.1 激磁绕组 N_1

推荐 N_1 为 40~50 匝,导线的直径约 0.3 mm。

5.1.2 串联电阻 R_c

R_c 可分为 10、100、500 和 1 000 Ω 四档,无感电阻,在测量频率范围内精度不低于 0.1 级。

5.1.3 比例电阻 R_a

R_a 可分为 100、500 和 1 000 Ω 三档,无感电阻,其精度与 R_c 相同。

5.1.4 平衡电阻 R_b

该电阻是一个十进位的交流电阻箱。阻值范围为 0~111 111 Ω ,最小步进值为 0.1 Ω ,在测量频率范围内精度与 R_c 相同。

5.1.5 平衡电容 C_b

该电容是一个十进位的电容箱。电容范围为 0~1.111 μF ,最小步进值 0.000 1 μF ,在测试频率范围内电容箱精度不低于 1.0 级。

5.1.6 峰值电压表^⑤

该电压表是一个高阻抗、多量程的峰值电压表:

频率范围:40Hz~100 kHz;

测量范围:1 mV~10 V(满度值);

输入阻抗不小于 1 M Ω ;精度不低于 0.5 级。

5.1.7 指零仪^⑦

频率范围:40Hz~50 kHz;

测量电压范围:30 μV ~100mV(满度值);

输入阻抗不小于 100k Ω ;

频率选择性:±4Hz 带宽不大于-3 dB;

±20 Hz 带宽不大于-42 dB。

5.1.8 交流磁化电源 E_{\sim}

频率范围:40Hz~15 kHz,连续可调;

频率稳定性:20 min 不超过±0.1%;

输出电压稳定性:每分钟不超过±0.02%;

输出功率不小于 5 W;

输出电压:连续可调,最大为 53 V。

5.1.9 频率计^④

频率计的精度为 0.1 级。

5.2 修正海氏电桥

5.2.1 激磁绕组 N_1 、次级绕组 N_2

推荐 N_1 为 100 匝,导线直径约 0.4 mm, N_2 为 20 匝,导线直径约 0.3 mm。

5.2.2 串联电阻 R_c

该电阻要有足够的功率容量,为保证次级感应电压的波形为正弦,其阻值可为 $1\sim 10\Omega$,电阻功率不小于 20 W ,无感电阻,在测量频率范围内精度不低于 0.1 级。

5.2.3 比例电阻 R_c

该电阻可采用交流电阻箱,其阻值范围为 $1\ 000\sim 100\ 000\Omega$,在测量频率范围内精度与 R_c 相同。

5.2.4 平衡电阻 R_b

该电阻是一个十进位的交流电阻箱,其阻值范围为 $0\sim 111\ 111\Omega$,最小步进值为 $0.1\ \Omega$ 。在测量频率范围内精度与 R_c 相同。

5.2.5 补偿电阻 R'_w

该电阻是用来补偿激磁绕组 N_1 的直流电阻。它是十进位的交流电阻箱,阻值范围为 $100\sim 1\ 111\ 100\Omega$,最小步进值为 $10\ \Omega$ 。在测量频率范围内精度与 R_c 相同。

5.2.6 平衡电容 C_b

该电容是一个十进位的可调电容箱,电容范围为 $0\sim 11.111\ \mu\text{F}$,最小步进值为 $0.000\ 1\ \mu\text{F}$ 。在测试频率范围内电容箱精度不低于 1.0 级。

5.2.7 交流电压表⑤

本方法所用的交流电压表应是平均值电压表或平均值响应有效值刻度的高阻抗、多量程电压表:

频率范围: $40\text{ Hz}\sim 100\ \text{kHz}$;

测量范围: $10\ \text{mV}\sim 100\ \text{V}$ (满度值);

输入阻抗不小于 $100\ \text{k}\Omega$;

精度不低于 0.5 级。

5.2.8 指零仪⑥

频率范围: $40\ \text{Hz}\sim 50\ \text{kHz}$;

测量电压范围: $100\ \mu\text{V}\sim 100\ \text{V}$ (满度值);

输入阻抗不小于 $100\ \text{k}\Omega$;

频率选择性: $\pm 4\text{ Hz}$ 带宽不大于 $-3\ \text{dB}$;

$\pm 20\text{ Hz}$ 带宽不大于 $-42\ \text{dB}$;

$\pm 40\text{ Hz}$ 带宽不大于 $-60\ \text{dB}$ 。

5.2.9 交流磁化电源 E_{\sim}

同 5.1.8。

5.2.10 频率计

同 5.1.9。

5.3 仪器检定

本标准中所用计量器具应定期由计量部门检定,采用国家计量部门检定的标准试样对整套装置进行定期考核。

6 测量步骤

6.1 测量前必须先进行退磁,采用感应法退磁,如图 2 所示。

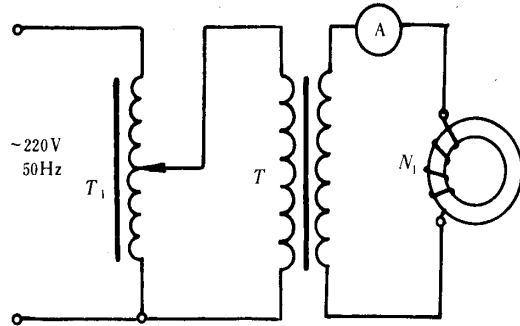


图 2 交流退磁装置示意图

T_1 —自耦变压器; T —退磁变压器; A —交流电流表

6.1.1 把试样如图 2 所示接好,调节自耦变压器的输出,使试样磁化到基本饱和(超过磁化曲线的拐点),然后缓慢匀速地抽出退磁变压器的次级绕组约 1 m 的距离,再将次级绕组转 90°角,断开电源。

6.1.2 退磁频率为 50 Hz,退磁时间约 20 s,退磁后搁置时间约 3 min。

6.2 用麦克斯韦电桥测量试样在一定频率和一定磁场强度峰值下的弹性磁导率 μ_1 ,把试样按图 1 所示接入麦克斯韦电桥。

6.2.1 串联电阻 R_c 两端的电压峰值 \hat{U} 与磁场强度峰值 \hat{H} 之间的关系如公式(1)所示:

$$\hat{U} = \frac{\pi d R_c \hat{H}}{N_1} \dots\dots\dots (1)$$

式中: \hat{U} —— 电压峰值, V;

d —— 试样的平均直径, m;

R_c —— 串联电阻值, Ω ;

\hat{H} —— 磁场强度峰值, A/m;

N_1 —— 激磁绕组匝数。

6.2.2 测量时,使指零仪和交流磁化电源的频率选择在规定值,调节磁化电源的输出,使峰值电压表的指示值为给定的磁场强度峰值所对应的电压值。

6.2.3 反复交替调节电桥的平衡电容 C_b 和平衡电阻 R_b ,并配合提高指零仪的灵敏度,直到指零仪的指示最小为止。此时认为电桥已经平衡,记取平衡时的 C_b 值。把磁化电源输出退回零。

6.3 用修正海氏电桥测量试样在一定频率和一定磁感应强度峰值下的比铁损 P_s ,把试样按图 1 所示接入修正海氏电桥。

6.3.1 测量前,要先测量激磁绕组 N_1 的直流电阻 R_w ,按公式(2)选取补偿电阻 R'_w 为:

$$R'_w = \frac{R_a R_c}{R_w} \dots\dots\dots (2)$$

式中: R'_w —— 补偿电阻值, Ω ;

R_a —— 电桥比例电阻值, Ω ;

R_w —— 激磁绕组直流电阻值, Ω 。

6.3.2 次级绕组两端的感应电压与测量频率和磁感应强度之间的关系由公式(3)或公式(4)决定:

$$\bar{U}_2 = 4f N_2 S \hat{B} \dots\dots\dots (3)$$

$$U_2 = 4.44f N_2 S \hat{B} \dots\dots\dots (4)$$

式中: \bar{U}_2 ——次级绕组感应电压平均值, V;

U_2 ——次级绕组感应电压有效值, V;

N_2 ——次级绕组匝数;

f ——测量频率, Hz;

S ——试样横截面积, m^2 ;

\hat{B} ——磁感应强度峰值, T。

6.3.3 测量时,使指零仪和交流磁化电源的频率选择在规定值,调节磁化电源的输出,使交流电压表的指示值为给定的磁感应强度所对应的电压值。

6.3.4 反复交替调节电桥的平衡电容 C_b 和平衡电阻 R_b , 并配合提高指零仪的灵敏度,直到指零仪指示最小为止。此时认为电桥已经平衡,记取平衡时的 R_b 值,把磁化电源的输出退回零。

6.4 测量弹性磁导率和比铁损时,首先要退磁,然后从低磁场测向高磁场,从低磁感应强度测向高磁感应强度。每换一个频率都要先进行退磁。

7 计算

7.1 试样的平均直径 \bar{d} 用公式(5)计算:

$$\bar{d} = \frac{d + D}{2} \dots\dots\dots (5)$$

式中: d ——试样的内直径, m;

D ——试样的外直径, m。

7.2 试样的横截面积 S 用公式(6)计算:

$$S = \frac{m}{\pi \bar{d} \rho} \dots\dots\dots (6)$$

式中: m ——试样的质量, kg;

ρ ——试样的密度, kg/m^3 。

7.3 串联等效电感 L_s 用公式(7)计算:

$$L_s = R_b R_c C_b \dots\dots\dots (7)$$

式中: L_s ——串联等效电感值, H;

C_b ——平衡电容值, F。

7.4 试样的弹性磁导率 μ_1 用公式(8)计算:

$$\mu_1 = \frac{\pi \bar{d} L_s}{N^2 S} \dots\dots\dots (8)$$

式中: μ_1 ——弹性磁导率, H/m。

7.5 弹性磁导率 μ_1 和相对弹性磁导率 μ_{r1} 之间的关系如公式(9)所示:

$$\mu_1 = \mu_0 \mu_{r1} \dots\dots\dots (9)$$

式中: μ_0 ——真空磁导率 ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$), H/m;

μ_{r1} ——相对弹性磁导率。

7.6 并联等效电阻 R_p 用公式(10)计算:

$$R_p = \frac{R_a R_c}{R_b} \dots\dots\dots(10)$$

式中: R_p —— 并联等效电阻值, Ω ;

R_b —— 平衡电阻值, Ω 。

7.7 试样的比铁损 P_s 用公式(11)计算:

$$P_s = \frac{\left(\frac{N_1}{N_2} U_2\right)^2}{m R_p} \dots\dots\dots(11)$$

式中: P_s —— 试样比铁损, W/kg 。

8 重复性

符合本标准规定时,弹性磁导率和比铁损测试结果的重复性以标准偏差表示,分别为 5% 和 3%。

附加说明:

本标准由中华人民共和国冶金工业部提出。

本标准由大连钢厂负责起草。

本标准主要起草人吴隆鹏、董安智、侯新宇。

本标准水平等级标记 GB 3658—90Y