

## 前 言

本标准是在有关企业标准的基础上,根据生产和使用的情况制定而成。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由冶金工业信息标准研究院归口。

本标准起草单位:钢铁研究总院、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:陈文智、尤 培、彭敬云。

## 非晶纳米晶软磁合金交流磁性能测试方法

### 1 范围

本标准规定了非晶纳米晶软磁合金的交流磁性能测量原理及两种测试方法——伏安相量法和计算机采样伏安法。

本标准适用于测试各种变压器、电感以及传感器等铁芯以及磁屏蔽用的非晶纳米晶软磁合金在 50 Hz~1 MHz 频率范围内的相对弹性磁导率、相对粘性磁导率、相对幅值磁导率、相对电感磁导率、比铁损、激磁功率和品质因数等交流磁特性。

### 2 规范性引用文件

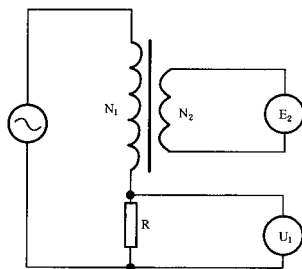
下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准。然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注明日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB/T 3658 软磁合金交流磁性能测量方法

### 3 伏安法交流磁性测量原理

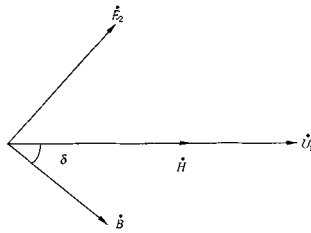
3.1 当软磁材料在交变磁场中磁化时，材料内部的磁感应强度也随之变化。由于材料性质的不同，磁感应强度的大小和相位差也不同。按照图 1 所示的测量原理图，如果测得与被测样品初级线圈串联的取样电阻  $R$  上的电压降  $U_1$ 、次级线圈的感应电压  $E_2$  以及它们的相位关系，由图 2 所示的矢量关系图，通过计算可得到该软磁材料的相对弹性磁导率、相对粘性磁导率、相对幅值磁导率、相对电感磁导率、比铁损、激磁功率和品质因数等交流磁特性。

3.1.1 在低磁场下，如果磁场和磁感应强度均呈正弦变化，根据下列公式求得各项交流磁性参数：



- $N_1$ ——被测样品的初级线圈；
- $N_2$ ——被测样品的次级线圈；
- $E_2$ ——次级线圈的感应电压；
- $R$ ——与初级线圈串联的取样电阻；
- $U_1$ ——取样电阻两端的电压。

图 1 伏安法基本原理图



$\dot{E}_2$ ——次级线圈的感应电压；  
 $\delta$ —— $\dot{H}$ 与 $\dot{B}$ 的夹角；  
 $\dot{H}$ ——磁化场矢量；  
 $\dot{U}_1$ ——取样电阻两端的电压；  
 $\dot{B}$ ——磁感应强度矢量。

图2 伏安法相量关系图

相对弹性磁导率

$$\mu' = \frac{B_m \cos \delta}{\mu_0 H_m} \dots\dots\dots (1)$$

式中：

$\mu'$ ——相对弹性磁导率；  
 $B_m$ ——磁感应强度幅值，单位为特(T)；  
 $\delta$ —— $\dot{H}$ 与 $\dot{B}$ 的夹角，单位为度(°)；  
 $\mu_0$ ——真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ；  
 $H_m$ ——磁场强度幅值，单位为安每米(A/m)。

相对粘性磁导率

$$\mu'' = \frac{B_m \sin \delta}{\mu_0 H_m} \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$\mu''$ ——相对粘性磁导率；  
 $B_m$ ——磁感应强度幅值，单位为特(T)；  
 $\delta$ —— $\dot{H}$ 与 $\dot{B}$ 的夹角，单位为度(°)；  
 $\mu_0$ ——真空磁导率， $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ ；  
 $H_m$ ——磁场强度幅值，单位为安每米(A/m)。

相对幅值磁导率

$$|\mu| = \sqrt{\mu'^2 + \mu''^2} \dots\dots\dots (3)$$

式中：

$|\mu|$ ——相对幅值磁导率；  
 $\mu'$ ——相对弹性磁导率；  
 $\mu''$ ——相对粘性磁导率。

相对电感磁导率

$$\mu_L = \frac{|\mu'|^2}{\mu} \dots\dots\dots(4)$$

式中:

- $\mu_L$ ——相对电感磁导率;
- $|\mu|$ ——相对幅值磁导率;
- $\mu'$ ——相对弹性磁导率。

比铁损(简称铁损)

$$P = \frac{I_0 U_0 \sin \delta}{m} = I_0 \frac{N_1}{N_2 m} E_2 \sin \delta \dots\dots\dots(5)$$

式中:

- $P$ ——比铁损,单位为瓦每千克(W/kg);
- $I_0$ ——初级线圈电流有效值,单位为安(A);
- $U_0$ ——初级线圈电压有效值,单位为伏(V);
- $\delta$ —— $\dot{H}$ 与 $\dot{B}$ 的夹角,单位为度(°);
- $m$ ——试样质量,单位为千克(kg);
- $N_1$ ——初级线圈的匝数;
- $N_2$ ——次级线圈的匝数;
- $E_2$ ——次级线圈电压有效值,单位为伏(V)。

激磁功率

$$P_e = \frac{I_0 U_0}{m} = I_0 \frac{N_1}{N_2 m} E_2 \dots\dots\dots(6)$$

式中:

- $P_e$ ——激磁功率,单位为瓦每千克(VA/kg);
- $I_0$ ——初级线圈电流有效值,单位为安(A);
- $U_0$ ——初级线圈电压有效值,单位为瓦(V);
- $m$ ——试样质量,单位为千克(kg);
- $N_1$ ——初级线圈的匝数;
- $N_2$ ——次级线圈的匝数;
- $E_2$ ——次级线圈电压有效值,单位为伏(V)。

品质因数

$$Q = \frac{\mu''}{\mu'} \dots\dots\dots(7)$$

式中:

- $Q$ ——品质因数;
- $\mu'$ ——相对弹性磁导率;
- $\mu''$ ——相对粘性磁导率。

3.1.2 在中高磁场下,由于材料磁化特性的非线性,磁场强度或磁感应强度为非正弦变化。若采取特殊措施,保持磁感应强度为正弦变化,比铁损按照公式(5)计算。

3.2 在符合本标准测量原理和精度的前提下,允许采用不同方式的测量线路。

#### 4 试样

4.1 非晶纳米晶软磁合金交流磁性能的测量使用环形试样。试样内径一般在10 mm~20 mm、外径一般在14 mm~30 mm之间。允许采用其他尺寸的环形试样,但试样的平均直径与试样叠片厚度(外径与内径差的二分之一)之比应大于8。

GB/T 19346—2003

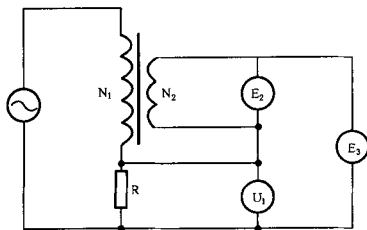
4.2 试样应平整,无毛刺、变形等缺陷。

4.3 试样在测量前应装入非铁磁性绝缘材料保护盒中,或者采取其他措施,防止试样在绕线和测试过程中受力。

4.4 试样在测量前应按照 GB/T 3658 的方法予以充分退磁。

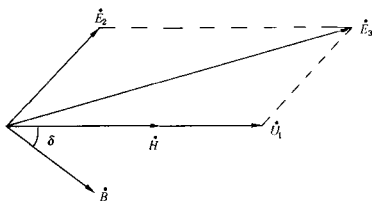
## 5 测量方法

5.1 伏安相量法:原理如图 3 和图 4 所示。在本方法中,被测样品初级线圈中的电流用取样电阻  $R$  上的电压降  $U_1$  来监测,次级线圈上的感应电压为  $E_2$ ,二者的矢量和为  $E_3$ 。通过  $U_1$ 、 $E_2$  和  $E_3$  组成的矢量三角形可以计算出相对弹性磁导率、相对粘性磁导率、相对幅值磁导率、相对磁导率、比铁损、激磁功率和品质因数等交流磁性参数。



- $N_1$ ——被测样品的初级线圈;
- $N_2$ ——被测样品的次级线圈;
- $E_2$ ——次级线圈的感应电压;
- $E_3$ —— $U_1$  和  $E_2$  的矢量和;
- $R$ ——与初级线圈串联的取样电阻;
- $U_1$ ——取样电阻两端的电压。

图 3 伏安相量法基本原理图



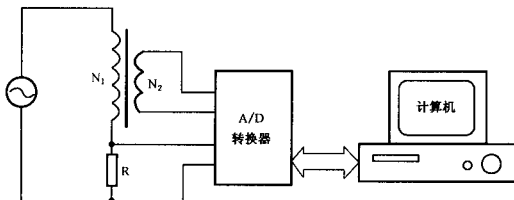
- $E_2$ ——次级线圈的感应电压;
- $E_3$ —— $U_1$  和  $E_2$  的相量和;
- $\delta$ —— $\dot{H}$  与  $\dot{B}$  的夹角;
- $\dot{H}$ ——磁化场矢量;
- $\dot{U}_1$ ——取样电阻两端的电压;
- $\dot{B}$ ——磁感应强度矢量。

图 4 伏安相量法矢量关系图

5.2 计算机波形采样法:原理如图 5 所示。由示波器分别显示与被测样品初级线圈串联的取样电阻  $R$  两端的电压和次级线圈的感应电压波形,并由计算机进行波形采样。计算机根据所采电压波形及其相

位差计算出各个磁性参数。

5.3 在符合本标准原理和精度要求的前提下,允许采用不同方式的测量方法和连接线路。



$N_1$ ——被测样品的初级线圈;

$N_2$ ——被测样品的次级线圈;

R——与初级线圈串联的取样电阻。

图5 计算机采样法基本原理图

## 6 测量用主要仪器

### 6.1 交流磁化电源:

频率范围:50 Hz~1 MHz,连续可调;  
 频率稳定性:在20 min内不超过0.1%;  
 输出电压稳定性:每分钟不超过0.02%;  
 输出功率:大于样品激励功率的10倍;  
 输出电压:0~50 V,连续可调。

### 6.2 数字平均值电压表(或平均值响应有效值刻度电压表):

频率范围:50 Hz~1 MHz;  
 测量范围:10 mV~100 V;  
 输入阻抗:不小于100 k $\Omega$ ;  
 精度:不低于0.5级。

### 6.3 数字有效值电压表:

频率范围:50 Hz~1 MHz;  
 测量范围:10 mV~100 V;  
 输入阻抗:不小于100 k $\Omega$ ;  
 精度:不低于0.5级。

### 6.4 仪器检定:

本标准所采用的计量仪表和器具应定期由计量部门检定,并采用国家计量部门检定的标准试样对整套装置进行定期校准。

## 7 重复性要求

在同样条件下,用同一台设备多次测量同一样品时,测量结果的波动误差范围不应超过 $\pm 5\%$ 。

## 8 试验报告

试验报告应包含以下内容:

a) 试样基本参数:名称、材料、牌号、尺寸、质量等;

GB/T 19346—2003

- b) 试验条件：频率、磁感应强度、环境温度等；
  - c) 实测数据；
  - d) 磁性参数计算值；
  - e) 试验操作员、试验日期；
  - f) 其他事项。
-