

前 言

本标准非等效采用国际电工委员会标准 IEC 404-2:1996《用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法》。本标准正文与 IEC 404-2:1996 基本相同,增加第 8 章“测量装置的校准”,增加了附录 A“试样的剪取方法”、附录 B“波形因数修正”和附录 C“电工钢片带的平均密度”。

本标准此次修订对下列条文进行了修改:

- 取消原第 3 章准确度与重复性。
- 原第 6 章中试样剪取方法放入附录 A。
- 原 7.7(现 4.5),测量结果重复性改为 1.5%。
- 原 7.6.3.2 波形因数修正,放入附录 B。
- 原第 7 章中表 1、表 2 放入附录 C。

本标准自实施之日起,代替 GB/T 3655—1992《电工钢片(带)磁、电和物理性能测量方法》中磁性部分。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 都是标准的附录。

本标准由国家冶金工业局提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会归口。

本标准起草单位:中国计量科学研究院、太原钢铁公司、冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人:瞿清昌、李欣田、柳泽燕、王京平、李 舸。

本标准 1983 年 5 月首次发布,1992 年 11 月第一次修订。

IEC 前言

IEC(国际电工委员会)是一个由国际上所有国家电工委员会(IEC 国家委员会)组成的有关标准化方面工作的世界性组织。它的目标是在电工、电子领域所有涉及标准化的问题上促进国际间合作。为此目的,IEC 除了其他活动外,还要出版公布国际标准。这些标准的准备工作是委托给一些专门的技术委员会。对涉及的问题感兴趣的任何 IEC 国家委员会可以参加该项准备工作。与 IEC 有联系的国际的、政府的和非政府的组织可以参加该预备工作。IEC 与国际标准化组织(ISO)紧密合作,两个组织之间所认可的条件是相互一致的。

因为每个技术委员会都有来自所有感兴趣的国家委员会的代表,所以 IEC 关于技术内容的正式决定或认可,几乎尽可能代表了对相关问题的国际一致意见。

提出的文本具有国际通用的推荐格式,并且以标准、技术报告或导则(指南)的格式公布出来,同时被各个国家委员会所接受。

为了促进国际的统一,各 IEC 国家委员会保证在其国家标准和地区标准中尽最大限度地应用 IEC 国际标准。在 IEC 标准和相应的国家标准或地区标准间存在的一些分歧应该在最后明确地指出。

IEC 制定无标识的程序来指出它的批准,并且不能用于声明(宣布)一些仪器设备符合其标准之一。

值得注意,这种标准的某些成分可能属于专利权的项目。IEC 将不负责对一些或全部这种专利权做出标志。

中华人民共和国国家标准

用爱泼斯坦方圈测量电工 钢片(带)磁性能的方法

Methods of measurement of the magnetic
properties of electrical steel sheet and
strip by means of an Epstein frame

GB/T 3655—2000
neq IEC 404-2:1996

代替 GB/T 3655—1992
磁性能部分

1 范围

本标准规定了用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的交流测量的一般原理、比总损耗的测量方法、磁极化强度峰值、磁场强度有效值、磁场强度峰值和比视在功率的测定方法、直流测量的一般原理、磁极化强度的直流测量方法、测量装置的校准和试验报告。

本标准适用于晶粒取向和晶粒无取向电工钢片(带)的直流磁性能测量及频率上限为 400 Hz 的交流磁性测量。适用于从任何等级的电工钢片(带)上取得的试验试样。

试样测量前应首先退磁,测量应在环境温度(23±5)℃,相对湿度小于 80%下进行。更高频率下的测量应按照 GB/T 10129 进行。

2 引用标准

下列标准所包含的条文,通过在本标准中引用而构成为本标准的条文。本标准出版时,所示版本均为有效。所有标准都会被修订,使用本标准的各方应探讨使用下列标准最新版本的可能性。

GB/T 2521—1996 冷轧晶粒取向、无取向磁性钢带(片)

GB/T 5212—1985 电工用热轧硅钢薄钢板

GB/T 10129—1988 电工钢片(带)中频磁性能测量方法

3 交流测量的一般原理

3.1 25 cm 爱泼斯坦方圈方法的原理

25 cm 爱泼斯坦方圈由初级线圈、次级线圈和作为铁心的试样组成。它形成一个空载变压器,其特性按下述各章叙述的方法进行测量。

3.2 试样

试样用双搭接接头(见图 1)装成一个正方形,形成长度相等、横截面积相等的四束。

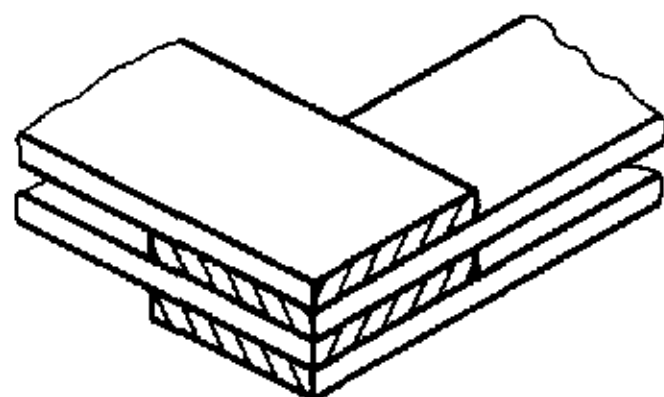


图 1 双搭接的接头

钢带应按照相应的产品标准取样,其剪取方式见附录 A(标准的附录)。

试样的剪取要求剪切整齐、平坦,直角性良好,边沿无明显毛刺,如果规定要热处理,应按照相应的产品标准进行。条片应具有下述尺寸:

- 宽度 $b=30\text{ mm}\pm 0.2\text{ mm}$;
- 长度 $280\text{ mm}\leq L\leq 320\text{ mm}$ 。

条片长度公差为 $\pm 0.5\text{ mm}$ 。

当平行或垂直轧制方向切割条片时,母体钢片的长边应作为参考方向。

对于规定的和实际的剪切方向之间的角度,应用下面的公差:

- 对于晶粒取向的电工钢片为 $\pm 1^\circ$;
- 对于晶粒无取向的钢片为 $\pm 5^\circ$ 。

测量应在无附加绝缘的情况下进行。

组成试样的条片数应为4的倍数,并且符合产品标准中的规定。试验试样的有效质量[见公式(1)]至少应为240 g。推荐的试样长度为300 mm,质量约为1 kg。

3.3 25 cm 爱泼斯坦方圈

25 cm 爱泼斯坦方圈(以下简称为方圈)应由4个线圈组成,构成试样的条片插入其中(见图2)。

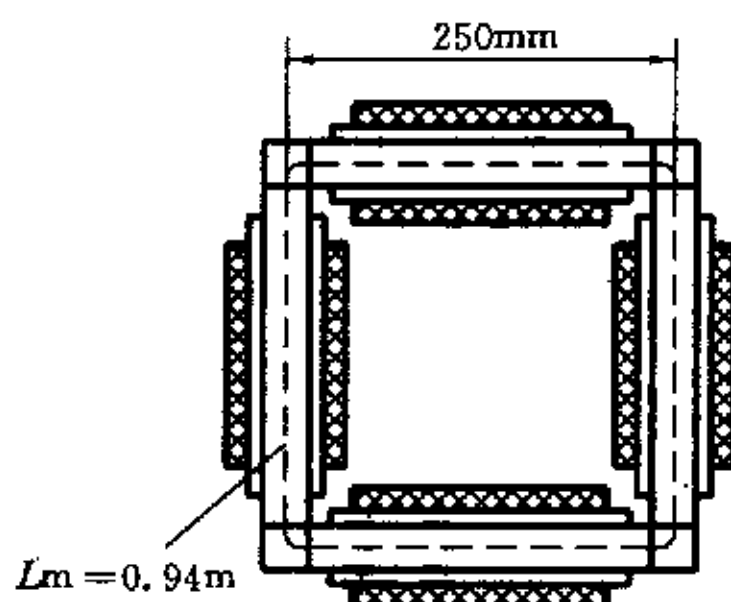


图2 25 cm 爱泼斯坦方圈

方圈包括用于空气磁通补偿的互感器。

支撑线圈的绕组骨架由硬质绝缘材料,例如由酚醛树脂构成。绕组骨架具有矩形横截面,其内部宽度为32 mm。推荐的大致高度为10 mm。

线圈应固定在一个绝缘、无磁性的底板上(见图2)。由试样条片内侧构成的正方形的边长应为 $220\text{ mm}^{+1}_0\text{ mm}$ (见图2)。

4个线圈的每一个应有两组绕组:

- 一组初级绕组,在外部(磁化绕组);
- 一组次级绕组,在内部(电压绕组)。

注:在这些绕组之间可以加一层静电屏蔽。

绕组应均匀分布在最小为190 mm的长度上,每个线圈的匝数为总匝数的四分之一。

四个线圈的各个初级绕组应串联,各个次级组也串联。可以选择初级和次级匝数,以适应电源、测量仪器和频率的特殊条件。

注:通常采用的总匝数推荐为700或1000。

为了尽可能减小绕组阻抗的影响,应满足下述要求:

$$\begin{aligned} \frac{R_1}{N_1^2} &\leq 1.25 \times 10^{-6} \Omega & \frac{R_2}{N_2^2} &\leq 5 \times 10^{-6} \Omega \\ \frac{L_1}{N_1^2} &\leq 2.5 \times 10^{-9} \text{ H} & \frac{L_2}{N_2^2} &\leq 2.5 \times 10^{-9} \text{ H} \end{aligned}$$

式中: R_1 、 R_2 ——分别为初级和次级绕组的电阻, Ω ;

L_1 、 L_2 ——分别为初级和次级绕组的电感, H;

N_1, N_2 ——分别为初级和次级绕组的总匝数。

注：例如，如果这些绕组具有下述的特征，就满足了这些要求：

总匝数： $N_1 = 700, N_2 = 700$ ；

初级（外层）绕组：四个线圈的每一个，用标称截面积约为 1.8 mm^2 的双股铜线，并排绕三层，共 175 匝；

次级绕组：四个线圈的每一个，用标称截面积为 0.8 mm^2 的单股铜线，绕一层共 175 匝。

有效磁路长度 L_m 规定采用 0.94 m 。因此，有效质量 m_a ，即试样的磁性有效质量，按式(1)计算：

$$m_a = \frac{L_m}{4L} m \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中： L ——试样条片的长度，m；

L_m ——有效磁路长度，m ($L_m = 0.94 \text{ m}$)；

m ——试样的总质量，kg；

m_a ——试样的有效质量，kg。

3.4 空气磁通补偿

用于补偿空气磁通的互感应置于四个线圈所围成的空间中心，其轴线垂直于这些线圈轴构成的平面。互感的初级绕组应与方圈的初级绕组串联，互感的次级绕组应与方圈的次级绕组串联反接（见图 3）。

应该这样调节互感值：当装置中没有试样时，在初级绕组通过一交流电流，使在次级绕组非公共端之间测量的电压不大于试验装置本身次级绕组之间出现的电压的 0.1%。

这样，在总的次级绕组中感应电压平均值就与试样中的磁极化强度峰值成比例了。

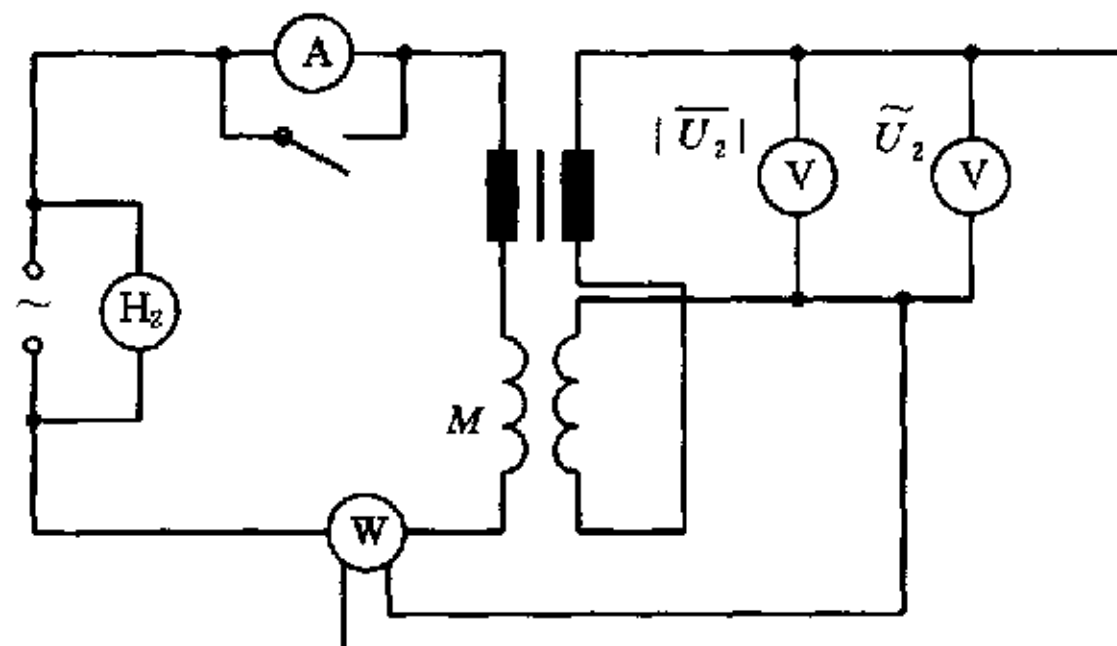


图 3 瓦特表法的电路

3.5 电源

电源应有低的输出阻抗和高的电压及频率稳定度。在测量过程中，输出电压稳定度要求 0.1%，设定频率准确度要求 0.1%。

对于比总损耗、比视在功率和磁场强度有效值的测量，次级电压的波形因数应为 $1.111 \pm 1\%$ 。

注：这可以用一些方法，例如使用电子控制电源或负反馈功率放大器。次级电压的波形因数为次级电压有效值与次级电压平均值之比。

为测定波形因数可使用两种电压表：一个是有效值响应电压表；一个是平均值响应电压表。

注：次级感应电压的波形应该用一个示波器来检验，以确保只存在基波分量。

3.6 电压测量

方圈的次级电压应该用输入阻抗不小于 $1000 \Omega/V$ 的电压表测量。

3.6.1 平均值电压表

应该使用平均值响应的准确度为 $\pm 0.2\%$ 或更好的电压表。

注：优先选用的仪表是数字电压表。

3.6.2 有效值电压表

应使用有效值响应的准确度为 $\pm 0.2\%$ 或更好的电压表。

注：优先选用的仪表是数字电压表。

3.6.3 峰值电压表

应该使用对峰值敏感的准确度为±0.5%或更好的电压表。

3.7 频率测量

应该使用准确度为±0.1%或更好的频率计。

3.8 功率测量

应该用在实际功率因数和波形系数条件下准确度为±0.5%或更好的瓦特表测量功率。

瓦特表电压回路的电阻至少应为其电抗的5 000倍,除非瓦特表对其电阻进行补偿。

如果在电路中包括电流测量仪表,在调节次级电压和测量损耗时,应将其短路。

4 比总损耗的测量方法

4.1 测量的准备

应按图3所示连接方圈和测量设备。

称量试样,其质量测定误差在±0.1%之内。称量之后,应把这些条片叠装入爱泼斯坦方圈的线圈中,在拐角处用双搭接接头方式搭接,在方圈的每一分支中条片的数目相同,以致所形成的正方形内边长度为 $220\text{ mm}^{+1}\text{ mm}$ 。当条片半数是平行于轧制方向剪切,半数垂直于轧制方向剪切时,在轧制方向剪切的条片应插入方圈的两个相对的分支里,而那些垂直于轧制方向剪切的条片插入另外两个分支里。务必确保在搭接部分条片间的空气隙尽可能小。允许对每个拐角垂直于搭接条片的平面施加大约1 N的力。

试样在测量前应经过退磁。退磁场初始幅值应高于测试点,然后以很小的递减量将磁极化强度缓慢地减到零。

4.2 电源的调节

观察初级回路的安培表,慢慢增加电源的输出,确保瓦特表电流回路不过载,直至爱泼斯坦方圈次级电压平均值 $|\bar{U}_2|$ 达到所要求的值。这个值是按公式(2)内所要求的磁极化强度值计算得到的。

$$|\bar{U}_2| = 4fN_2 \frac{R_i}{R_i + R_t} A\hat{J} \quad \dots\dots\dots(2)$$

式中: $|\bar{U}_2|$ ——在次级绕组中感应电压的平均值, V;

A ——试样的横截面积, m^2 ;

f ——频率, Hz;

\hat{J} ——磁极化强度的峰值, T;

N_2 ——次级绕组的总匝数;

R_i ——次级回路中仪表的总电阻, Ω ;

R_t ——次级绕组和互感器的串联电阻, Ω 。

试样的横截面积按式(3)计算:

$$A = \frac{m}{4L\rho_m} \quad \dots\dots\dots(3)$$

式中: A ——试样的横截面积, m^2 ;

m ——试样的总质量, kg;

L ——试样条片的长度, m;

ρ_m ——试样的密度, kg/m^3 。

注: 试样的密度值可由产品标准,或按相应标准测定,或按产品硅铝含量查表[见附录C(标准的附录)]等方式获得。

4.3 功率的测量

将初级回路的安培表短路,如果必要,重新调节次级电压。按照3.5的规定测定次级电压的波形因数,再记录下瓦特表的读数。

4.4 比总损耗的测定

通过瓦特表测量的功率 P_m 包括次级回路中仪表消耗的功率。因此,试样的总损耗 P_c 按式(4)计算:

$$P_c = \frac{N_1}{N_2} P_m - \frac{(1.111 |\bar{U}_2|)^2}{R_i} \dots\dots\dots (4)$$

式中: P_c ——计算的试样总损耗, W;

N_1 ——初级绕组的总匝数;

N_2 ——次级绕组的总匝数;

P_m ——通过瓦特表测量的功率, W;

R_i ——次级回路中仪表的总电阻, Ω ;

$|\bar{U}_2|$ ——在次级绕组中感应电压的平均值, V。

测量的比总损耗 P_s 按式(5)计算:

$$P_s = \frac{P_c}{m_s} = \frac{P_c 4L}{m L_m} \dots\dots\dots (5)$$

式中: P_s ——试样的比总损耗, W/kg;

L ——试样条片的长度, m;

L_m ——有效磁路长度, m ($L_m = 0.94 L$);

m ——试样的总质量, kg;

m_s ——试样的有效质量, kg;

P_c ——计算的试样总损耗, W。

4.5 比总损耗测量的重复性

由本章叙述的方法所得到测量结果的重复性以相对标准偏差表示,在磁极化强度不大于 1.7 T 时对晶粒取向材料的测量和在不大于 1.5 T 时对晶粒无取向材料的测量均为 1.5%。对于较高磁极化强度下的测量,预计其相对标准偏差将增大。

5 磁极化强度峰值、磁场强度有效值、磁场强度峰值和比视在功率的测定方法

本章叙述下述特性的测定方法:

——磁极化强度峰值 \hat{J} ;

——磁场强度有效值 \bar{H} ;

——磁场强度峰值 \hat{H} ;

——比视在功率 S_v 。

5.1 试样

试样应遵照 3.2 的规定。

5.2 测量原理

5.2.1 磁极化强度的峰值 \hat{J}

磁极化强度峰值应由按照第 4 章叙述的方法测量的次级电压的平均值,再按公式(2)计算得出。

注:在测得磁极化强度峰值 \hat{J} 后,加上对应该点的磁场强度峰值 \hat{H} 和 μ_0 的乘积,便可得到该点的磁感应强度峰值

$\hat{B}(T)$,其中 μ_0 为磁常数,其量值为 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m。

5.2.2 磁场强度有效值

磁场强度有效值应由图 4 电路中安培表测出的电流有效值计算得出。另一种方法,把一只准确度为 0.1% 的精密电阻(其典型值在 0.1 Ω 到 1 Ω 的范围),接入电路取代安培表,再按照 3.6 的要求,用一只有效值响应的电压表测量这个电阻上产生的电压。频率应调整到所要求的值。磁极化强度峰值应通过爱泼斯坦方圈次级电压的调节,调整到由公式(2)计算的所要求值。然后测定并记录下电流有效值。磁

场强度有效值按式(6)计算出:

$$\hat{H} = \frac{N_1 I_1}{L_m} \dots\dots\dots(6)$$

式中: \hat{H} ——磁场强度有效值, A/m;
 I_1 ——磁化电流有效值, A;
 L_m ——有效磁路长度, m ($L_m = 0.94$ m);
 N_1 ——初级绕组的总匝数。

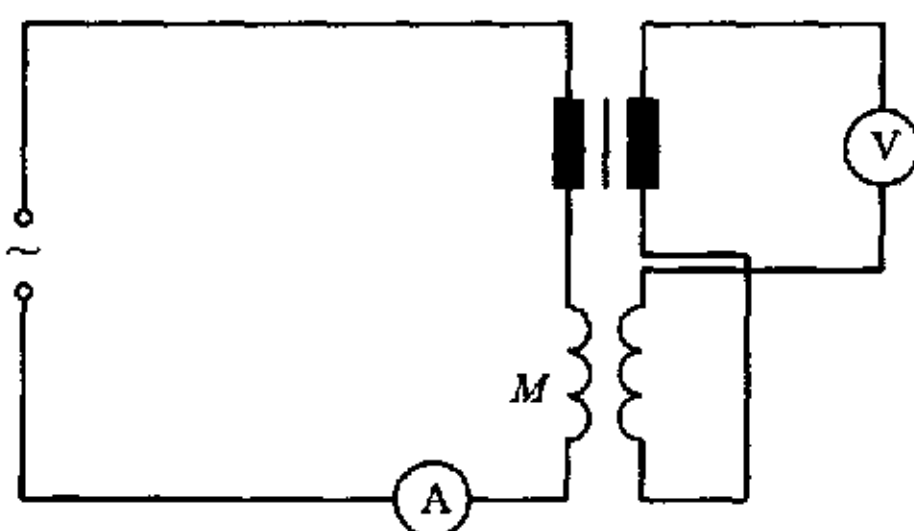


图4 测量磁化电流有效值的电路

5.2.3 磁场强度峰值

磁场强度峰值应由磁化电流峰值 \hat{I}_1 得出, 而 \hat{I}_1 通过用图5所示的峰值电压表测量准确度为0.1%的已知精密电阻 R 两端的电压降得到。对于这个测量, 次级电压的波形因数允许超过规定值(见3.5)。
 磁场强度的峰值按式(7)计算:

$$\hat{H} = \frac{N_1 \hat{I}_1}{L_m} \dots\dots\dots(7)$$

式中: \hat{H} ——磁场强度峰值, A/m;
 \hat{I}_1 ——磁化电流峰值 ($\hat{I}_1 = \frac{U}{R}$), A;
 L_m ——有效磁路长度, m ($L_m = 0.94$ m);
 N_1 ——爱泼斯坦方圈初级的总匝数。

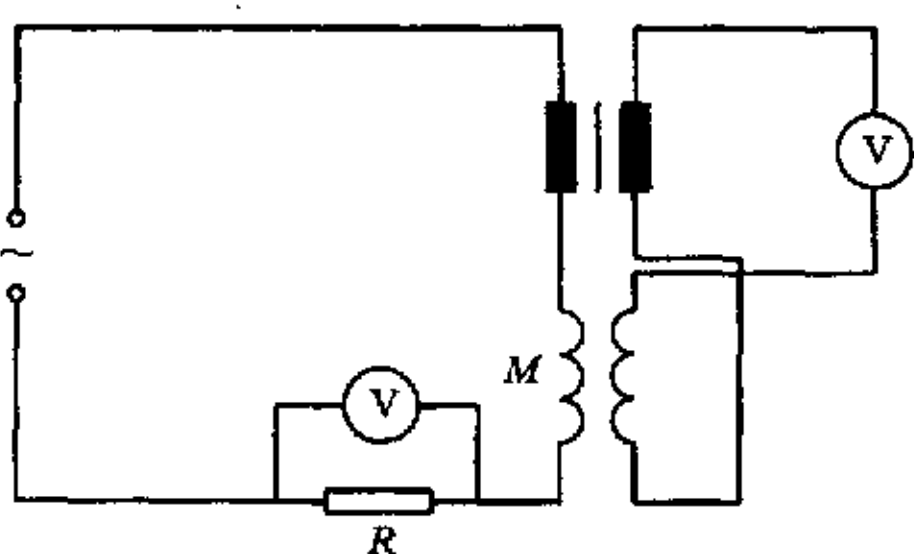


图5 用峰值电压表测量磁场强度峰值

另外一种方法, 磁化电流峰值 \hat{I}_1 可以通过测量准确度为0.5%的互感器 M_D 次级绕组两端的电压平均值得到, 互感的初级与方圈的初级串联。用这种方法必须确保(例如通过在示波器上观察波形)互感次级电压波形在每个周期不多于两次过零。该电路在图6中给出。电压表可以是测量方圈次级电压平均值所用的同一只仪表。用这种方法, 磁场强度峰值应按式(8)计算:

$$\hat{H} = \frac{N_1}{4fM_D L_m} \times \frac{R_v + R_m}{R_v} \times U_m \dots\dots\dots(8)$$

式中: M_D ——图6电路中的互感系数, H;
 R_m ——互感器 M_D 次级绕组的电阻, Ω ;
 R_v ——平均值电压表的内阻, Ω ;
 U_m ——互感器 M_D 次级感应电压的平均值, V。

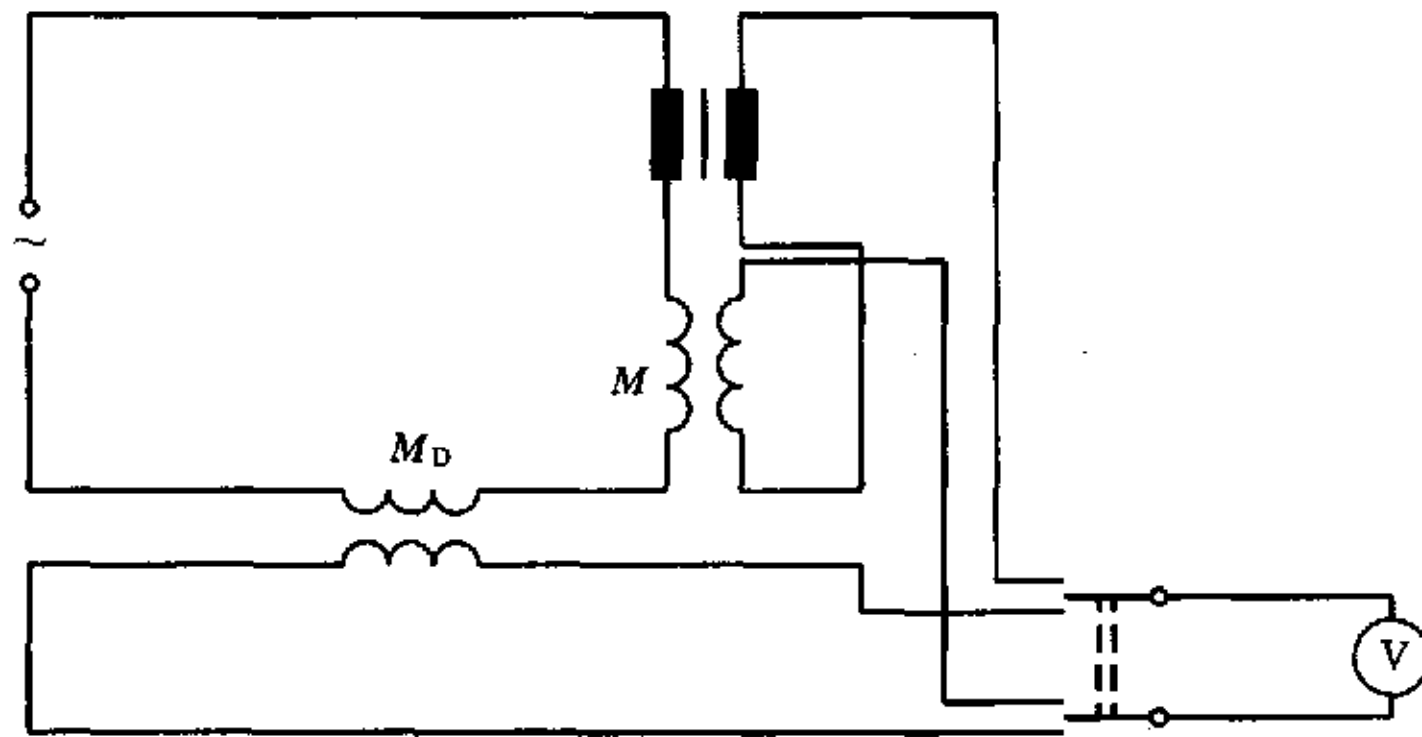


图 6 用互感器 M_D 测量磁场强度峰值的电路

5.2.4 比视在功率的测定

给定磁极化强度和频率,测量对应的磁化电流有效值(见 5.2.2)和方圈的次级电压有效值可求得试样的比视在功率。电压的有效值测量应使用符合 3.6 要求的电压表,在爱泼斯坦方圈次级绕组两端测得。

比视在功率按式(9)计算:

$$S_s = I_1 \bar{U}_2 \frac{N_1}{m_s N_2} = I_1 \bar{U}_2 \frac{N_1 4L}{m L_m N_2} \dots\dots\dots (9)$$

式中: S_s ——比视在表观功率,VA/kg;

I_1 ——磁化电流的有效值,A;

L_m ——有效磁路长度,m($L_m=0.94$ m);

L ——试样条片的长度,m;

m ——试样的总质量,kg;

m_s ——试样的有效质量,kg;

N_1 ——方圈初级绕组的总匝数;

N_2 ——方圈次级绕组的总匝数;

\bar{U}_2 ——次级绕组感应电压的有效值,V。

5.3 重复性

由本章所述方法得到的测量结果的重复性基本上取决于所用测量仪表的准确度和对试验物理细节的密切注意。当所用仪器准确度为±0.5%或更好时,在基本磁化曲线饱和区(晶粒取向电工钢片 $\dot{H} \geq 500$ A/m,晶粒无取向电工钢片 $\dot{H} \geq 1\ 000$ A/m),试样给定磁场强度峰值下对应的磁极化强度峰值测量结果的重复性为标准偏差的1%;比视在功率的重复性为标准偏差2%(对于低于磁化曲线膝点的磁极化强度值)到7%(对于接近饱和的磁极化强度值);其他参数测量结果的重复性为标准偏差的2%。

6 直流测量的一般原理

6.1 25 cm 爱泼斯坦方圈法的原理

25 cm 爱泼斯坦方圈由初级绕组、次级绕组和作为铁心的被测试样组成,它形成一个空载变压器,其直流特性用下述各章叙述的方法测量。

6.2 试样

试样应按 3.2 的规定。

6.3 25 cm 爱泼斯坦方圈

25 cm 爱泼斯坦方圈应按照 3.3 构成。

6.4 空气磁通补偿

空气磁通的影响应用 3.4 叙述的互感进行补偿。

6.5 电源

电源应具有足够产生所要求的最大磁场强度的额定电流。纹波量应少于1%，电流稳定度应使总的相对磁通变化不大于0.2%。

6.6 仪器准确度

测量仪器的准确度如下：

6.6.1 磁通积分器

应该使用准确度为±0.3%或更好的磁通积分器。

6.6.2 安培表

应该使用准确度为±0.2%或更好的安培表。

7 磁极化强度的直流测量方法

7.1 测量准备

应按照图7所示连接爱泼斯坦方圈和测量设备。

称量试样并按4.1所述把试样装入爱泼斯坦方圈。然后将试样通过减小交变磁场或通过逐渐减小并换向(换向的频率大约每秒二次)爱泼斯坦方圈初级绕组中的直流电流进行退磁。退磁电流所产生的磁场强度的初始值应比先前测量所用的磁场强度高。

试样的横截面积 A 应按公式(3)计算。

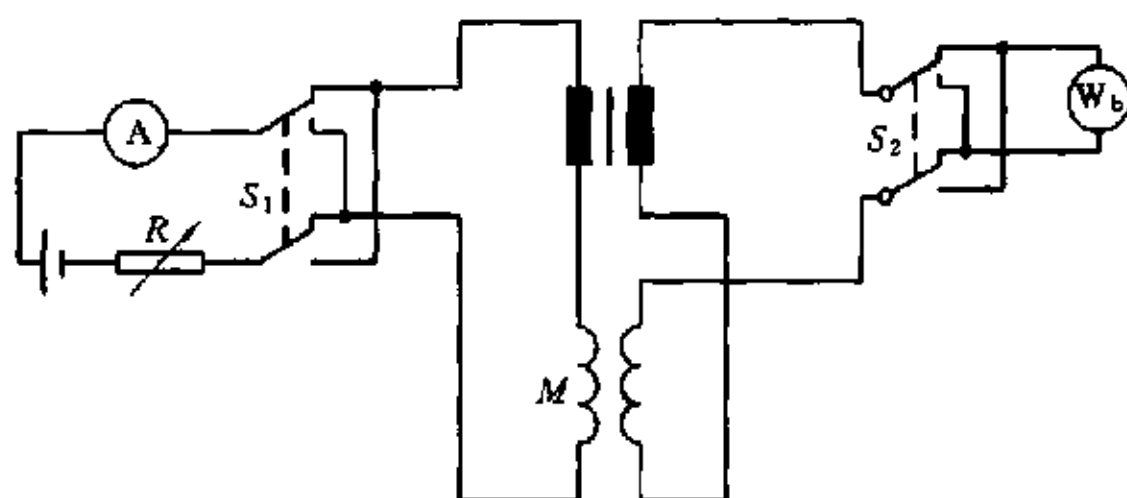


图7 测量磁极化强度不连续值的直流试验电路

7.2 磁极化强度的测定

用图7所示的电路,对于相应的磁场强度值,可以测定不连续的磁极化强度值,或者从一系列不连续的值得到基本磁化曲线。另一方面,可以用连续记录的方法,将一个校准的四端电阻与方圈的磁化绕组串联,如图8所示,将电压接线柱连接到一个X-Y记录仪的X输入端,磁通积分器的输出端连接到X-Y记录仪的Y输入端可以用一个绘图仪或者计算机接口代替X-Y记录仪。

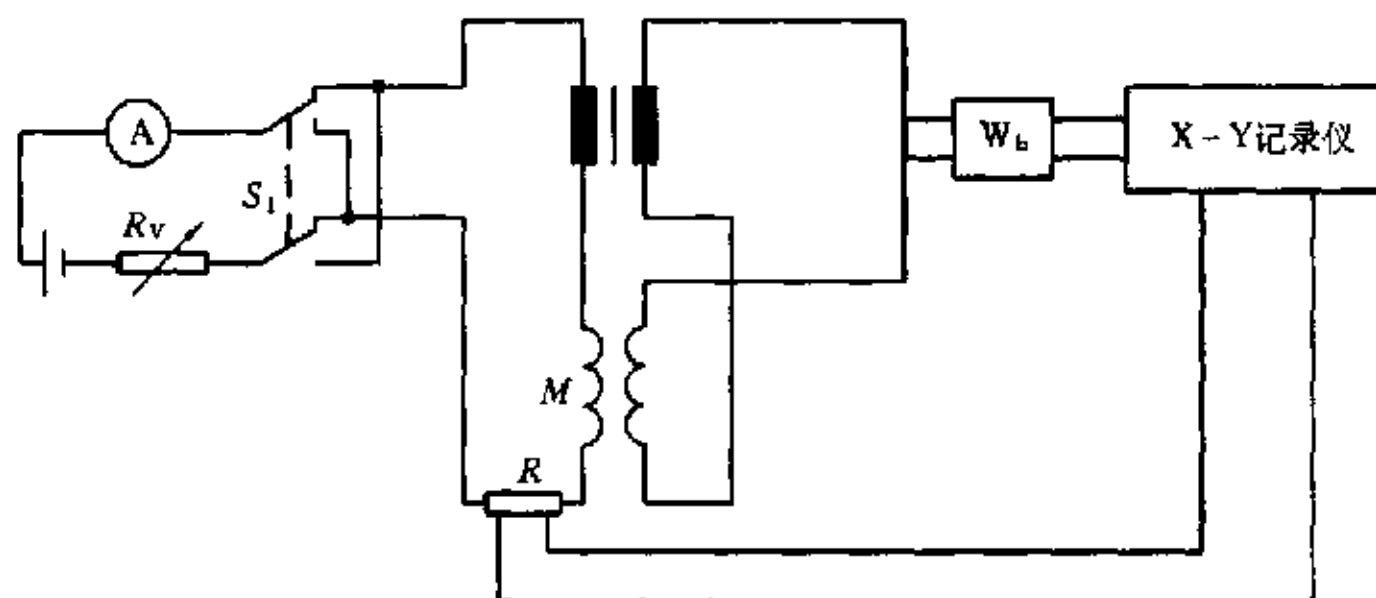


图8 连续记录法的直流试验电路

磁场强度通过测量方圈初级绕组中的磁化电流,再按式(10)计算:

$$H = \frac{N_1 I}{L_m} \dots\dots\dots(10)$$

式中: H ——磁场强度, A/m;

I ——磁化电流, A;

L_m ——有效磁路长度, m ($L_m = 0.94$ m);

N_1 ——方圈初级绕组的总匝数。

为了得到不连续的磁极化强度值, 先将磁通积分器调整为零位, 再增加流过初级绕组的电流, 直到达到所要求的磁场强度值。

应记录下磁化电流和磁通表读数的变化。磁极化强度值应由磁通表读数的变化和磁通积分器的校准常数, 按式(11)计算:

$$\Delta J = \frac{K_j \alpha_j}{N_2 A} \dots\dots\dots (11)$$

式中: ΔJ ——测量的磁极化强度变化, T;

A ——试样的横截面积, m^2 ;

α_j ——磁通积分器的读数;

K_j ——磁通积分器的校准常数, VS;

N_2 ——爱泼斯坦方圈次级的总匝数。

7.3 磁滞回线的测定

按图 8 接线方式, 当磁化线圈中的电流扫描一个周期时, 可在 X-Y 记录仪上得到一个磁滞回线。

7.4 磁极化强度测量的重复性

由本章所述方法得到的测量结果的重复性为标准偏差的 1.0%。

8 测量装置的校准

为了确保电工钢片(带)磁性参数测量结果在国内外比较中的一致性, 在实行本标准的同时, 需要有确实的计量保证。

8.1 装置中所用的 25 cm 爱泼斯坦方圈, 为本装置主要的标准量具, 应当经计量部门检定, 持有该部门发给的检定合格证书, 方可在正式测量中使用。

8.2 装置中所用的其他仪器、仪表、量具也需定期由计量部门检定, 确认它们具有本标准所规定的准确度等级。

8.3 将由计量部门负责发放若干种材料的标准试样, 作为校准装置的工作标准。

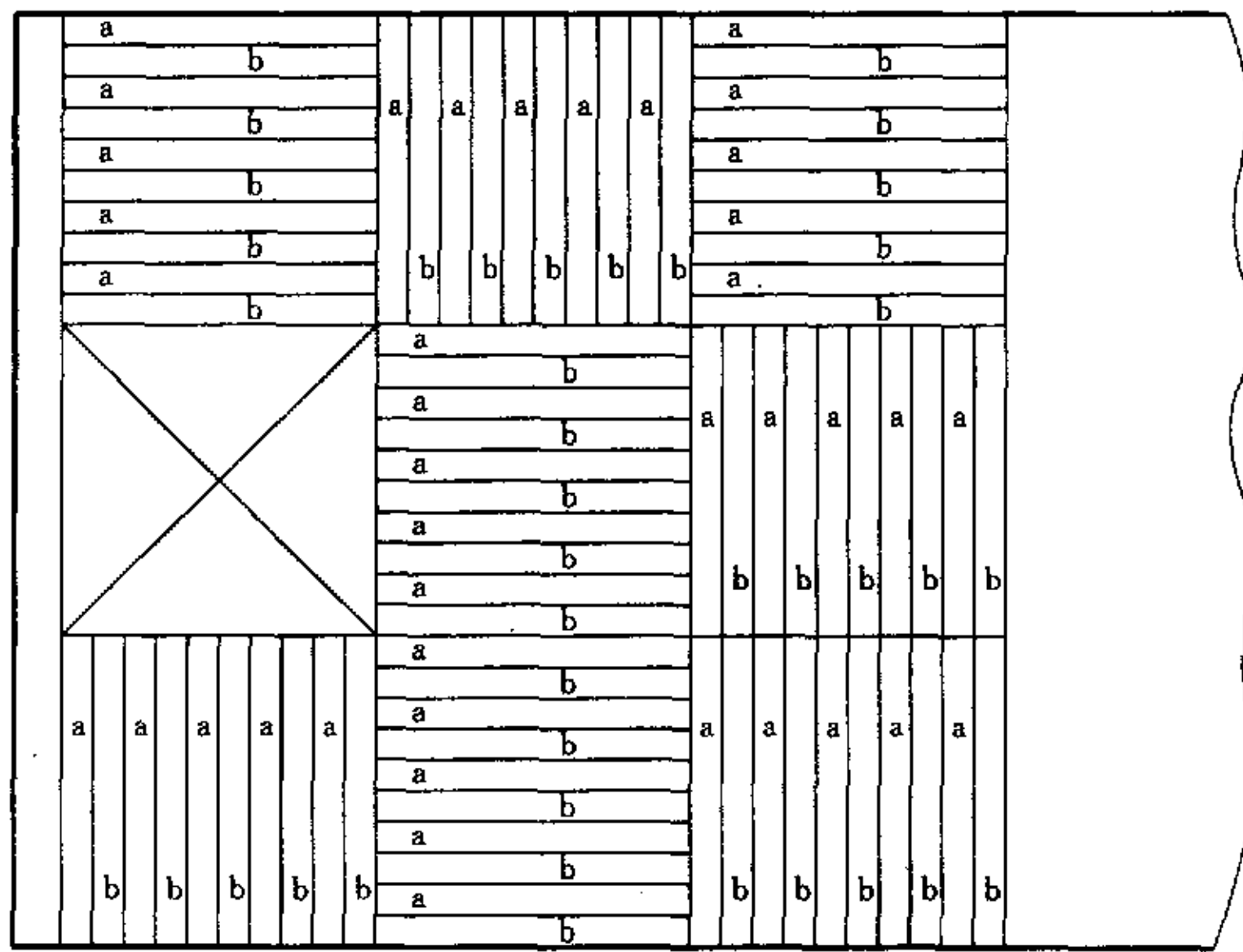
9 试验报告

试验报告应包括下述内容:

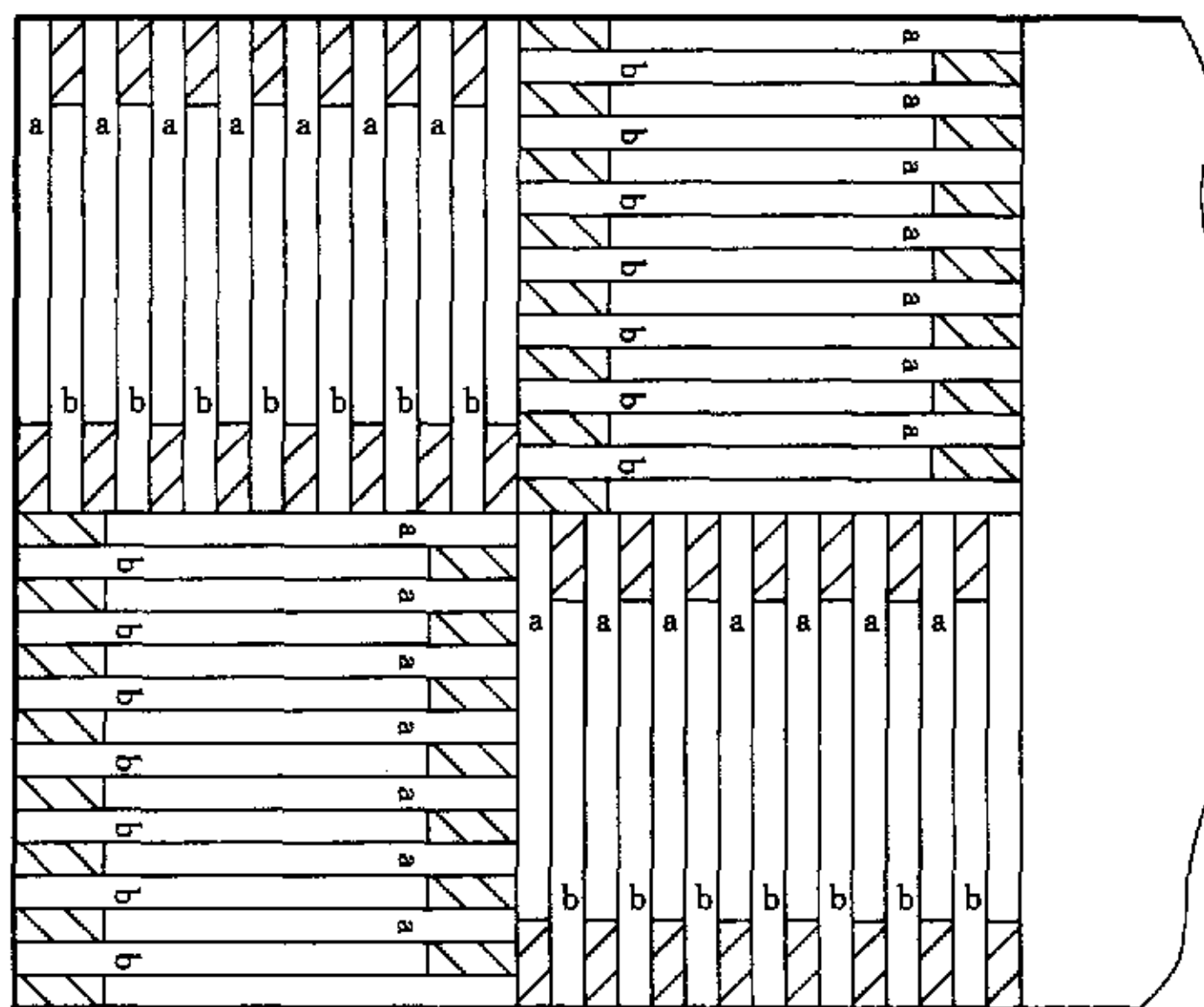
- a) 试样的型号和标志;
- b) 材料的密度(惯用的或测量得到的);
- c) 试样条片的长度;
- d) 条片数;
- e) 测量过程中的环境温度;
- f) 测量频率;
- g) 磁极化强度值或磁场强度;
- h) 测量的结果。

附录 A
(标准的附录)
试样的剪取方法

电工钢片(带)的剪取,应使所取试样对钢片(带)具有尽可能全面的代表性,推荐的剪切和舍弃部位见图 A1 和图 A2。在图 A1 中 a、b 两副试样中任取一副,试样中的舍弃部分剪去,其中图 A1.1 适用于 900 mm×1 800 mm 和 1 000 mm×2 000 mm 规格的产品,图 A1.2 则适用于各种规格的产品。当按图 A1.2 取得的一副试样不足 1 kg 时,可以 a、b、c 编号取 a、b 弃 c(即取二片,弃一片)方式或不弃片方式组成一副试样。图 A2 为晶粒取向电工钢片(带)的剪取方法。



A1.1



A1.2

图 A1 热轧和冷轧无取向电工钢片的剪取法

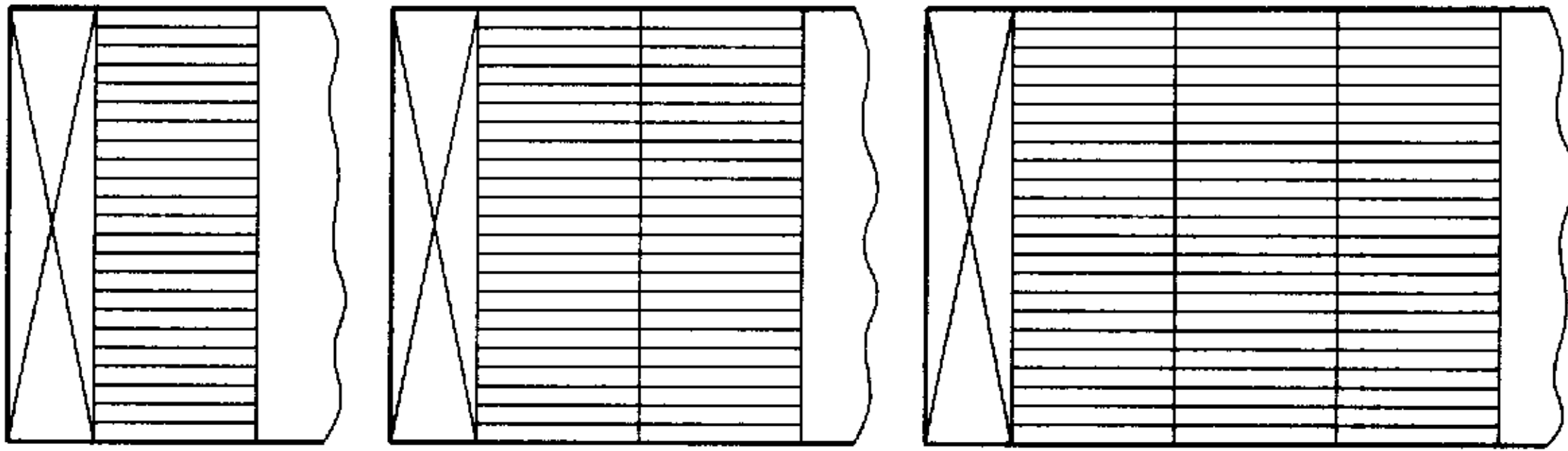


图 A2 取向电工钢片(带)的剪取方法

附录 B
(标准的附录)
波形因数修正

在比总损耗测量时应保持磁通即次级感应电压波形正弦,在特殊情况下,当波形系数(次级感应电压有效值与平均值的比)偏离 1.111 且不超过±5%时,应当引入波形因数修正。

用式(B1)可以得到精确的已修正过的比总损耗值:

$$P'_s = \frac{P_s}{\frac{P_h}{P_s} + \left(\frac{P_p}{P_s}\right) \left(\frac{F}{1.111}\right)^2} \dots\dots\dots (B1)$$

用近似公式(B2)也可以得到足够准确的结果:

$$\Delta P_s = 2e \left(\frac{\Delta F}{1.111}\right) P_s \dots\dots\dots (B2)$$

计入波形失真修正量时的比总损耗 P' 为:

$$P'_s = P_s - \Delta P_s = \left[1 - 2e \left(\frac{\Delta F}{1.111}\right)\right] P_s \dots\dots\dots (B3)$$

- 式中:
- ΔP_s —— 波形失真修正量, W/kg;
 - P_s —— 按式(5)求得的试样的比总损耗, W/kg;
 - P'_s —— 考虑波形修正后的比总损耗, W/kg;

$e = \frac{P'_p}{P_s}$ —— 涡流在比总损耗中占的比例;

$(1 - e) = \frac{P_h}{P_s}$ —— 磁滞损耗在比总损耗中占的比例;

$\Delta F = \left(\frac{\bar{U}_2}{U_2} - 1.111\right)$ —— 波形失真系数, 其中 \bar{U}_2 和 U_2 为次级感应电压的有效值和平均值。

式(B2)中的系数 e 通常用改变频率的方法进行测量。测量时频率改变量不能太小,但也不应超出测量点频率的一半或二倍。一般情况下在频率为 50 Hz~60 Hz 时可以使用表 B1 和表 B2 所示的值。

表 B1 冷轧电工钢片(带)的系数 e 的数值

材料	试样组成	厚度,mm			
		0.30	0.35	0.50	0.70
		e			
无取向	纵、横向各半	—	0.20	0.30	0.40
	全纵向	—	0.25	0.35	0.45
取向	全纵向	0.50	0.60	—	—

表 B2 热轧电工钢片(带)的系数 e 的数值

材料硅含量	试样组成	厚度,mm		
		0.35	0.50	1.00
		e		
$\leq 2.8\%$	纵、横向各半	—	0.20	0.50
$> 2.8\%$		0.20	0.30	—
			0.35	

附录 C

(标准的附录)

电工钢片(带)的平均密度

表 C1 热轧电工钢片(带)的平均密度

硅含量, %	平均密度, 10^3 kg/m^3	
	酸洗钢片(带)	未酸洗钢片(带)
0.80~1.80	7.80	7.75
1.81~2.80	7.75	7.70
2.81~3.80	7.65	—
3.81~4.50	7.55	—

表 C2 冷轧电工钢片(带)的平均密度

硅铝含量, %	平均密度, 10^3 kg/m^3
0~0.65	7.85
0.66~1.40	7.80
1.41~2.15	7.75
2.16~2.95	7.70
2.96~3.70	7.65
3.71~4.50	7.60