

T/EJCCCSE

团 体 标 准

T/EJCCCSE XXX-2025

纳米晶磁芯磁性检测方法

Method for magnetic property testing of nanocrystalline magnetic cores

（征求意见稿）

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国商业股份制企业经济联合会 发布

目 次

前 言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 检测要求 2

5 检测方法 2

6 检测结果处理 4

7 检测报告 5

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由滑县恒和电子有限公司提出。

本文件由中国商业股份制企业经济联合会归口。

本文件起草单位：滑县恒和电子有限公司。

本文件主要起草人：×××

纳米晶磁芯磁性检测方法

1 范围

本文件描述了纳米晶磁芯磁性检测的术语和定义、检测要求、检测方法、检测结果处理和检测报告的方法。

本文件适用于纳米晶磁芯的磁性能评估。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 2828.1 计数抽样检验程序 第1部分：按接收质量限（AQL）检索的逐批检验抽样计划

GB/T 19346.3-2021 非晶纳米晶合金测试方法 第3部分：铁基非晶单片试样交流磁性能

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

纳米晶磁芯 nanocrystalline magnetic core

采用铁基纳米晶软磁合金带材，经过剪切、叠装、固定成型及磁场热处理等工艺制成的具有特定形状和功能的磁性元件。

3.2

相对幅值磁导率 relative amplitude permeability

表示磁芯材料被磁化的难易程度。在交流磁场作用下，纳米晶磁芯中磁感应强度幅值与磁场强度幅值之比，表征磁芯对磁场的响应能力。

3.3

比总损耗 specific total loss

单位质量的纳米晶磁芯在交流磁场作用下，单位时间内消耗的能量，反映磁芯在交变磁场中的能量损耗特性。

3.4

比视在功率 specific apparent power

单位质量的纳米晶磁芯在交流磁场作用下，视在功率与质量的比值，用于衡量磁芯在交流电路中的能量传输能力。

3.5

饱和磁感应强度 saturation flux density

纳米晶磁芯在磁场强度不断增加时，磁感应强度达到不再随磁场强度显著增加的最大值。

3.6

剩余磁感应强度 remanent magnetic induction

当外加磁场强度降为零时，纳米晶磁芯中残留的磁感应强度。

3.7

矫顽力 coercivity

使纳米晶磁芯的剩余磁感应强度降为零所需施加的反向磁场强度。

4 检测要求

4.1 检测环境

检测应在温度为 $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$ 、相对湿度为 $(50 \pm 5) \% \text{RH}$ 的环境下进行，检测前磁芯应在该环境中放置至少 24 h，磁芯与环境达到热平衡。

4.2 试样要求

4.2.1 试样应从批量生产的纳米晶磁芯中随机抽取，抽样数量应符合 GB/T 2828.1 的相关规定。

4.2.2 试样表面应清洁、无油污、无裂纹等缺陷，对于环形试样，其内外径尺寸、高度应符合产品设计要求；对于 E 形、U 形等其他形状试样，其各部分尺寸公差应在规定范围内。

4.2.3 若需对磁芯单片进行检测，应按照 GB/T 19346.3-2021 的要求制备单片试样。

4.3 仪器设备要求

4.3.1 交流磁性能检测设备应能提供 50 Hz ~ 200 kHz 的稳定交流磁场，磁场强度和磁感应强度测量精度应不低于 $\pm 2\%$ 。

4.3.2 静态磁性能检测设备应能提供足够强度的直流磁场，磁场强度测量精度应不低于 $\pm 1\%$ ，磁感应强度测量精度应不低于 $\pm 2\%$ 。

4.3.3 天平的精度应能满足试样质量测量要求，精度不低于 0.001 g。

4.3.4 所有仪器设备应定期进行校准和检定，确保检测结果的准确性和可靠性。

5 检测方法

5.1 交流磁性能检测

5.1.1 相对幅值磁导率检测

5.1.1.1 环形纳米晶磁芯

环形纳米晶磁芯检测步骤如下：

- a) 准备检测线圈，确保其匝数 N ，横截面积 S 等参数已知且准确；
- b) 将环形纳米晶磁芯置于检测线圈中心位置，连接好测量电路，包括交流电源、电压表、电流表等设备；
- c) 设置交流电源输出频率 f 和磁场强度幅值 H_m 至规定值；
- d) 开启交流电源，稳定一段时间后，使用电压表测量磁芯两端的感应电压幅值 U_m ，使用电流表测量通过检测线圈的电流幅值 I_m ；
- e) 根据公式计算相对幅值磁导率 μ_{ai} ，计算公式如下：

$$\mu_{ai} = \frac{U_m}{4\pi f N S H_m} \times 10^8 \dots\dots\dots (1)$$

式 (1) 中：

U_m : 感应电压幅值 (V) ;
 f : 交流电源频率 (Hz) ;
 N : 检测线圈匝数;
 S : 检测线圈横截面积 (m²) ;
 H_m : 磁场强度幅值 (A/m) 。

5.1.1.2 非环形磁芯

5.1.1.2.1 等效磁路法

非环形磁芯等效磁路法检测步骤如下:

- a) 测量非环形磁芯的磁路长度 l , 平均横截面积 A 等几何参数;
- b) 根据磁芯材料特性和磁路结构, 估算等效磁导率 μ_{eff} 的初始值;
- c) 构建等效磁路模型, 将非环形磁芯等效为一个磁阻 $R_m = l/\mu_{eff}A$;
- d) 在等效磁路两端施加交流磁场, 测量磁路两端的磁压降 $U_{m\phi}$ 和通过磁路的磁通量变化率 $d\Phi/dt$;
- e) 根据公式 $\mu_{ai} = \frac{d\Phi/dt}{A \times H_m} \times \frac{1}{U_{m\phi}/l} \times 10^8$ 计算相对幅值磁导率, 其中 H_m 为施加的磁场强度幅值 (A/m) ;
- f) 若计算结果与初始估算值差异较大, 需重新调整等效磁导率 μ_{eff} 并重复计算, 直至结果稳定。

5.1.1.2.2 专用夹具法

非环形磁芯专用夹具法检测步骤如下:

- a) 将非环形纳米晶磁芯安装在专用夹具中, 使其形成近似环形的磁路结构;
- b) 按照环形纳米晶磁芯的检测步骤, 设置交流电源参数, 测量感应电压幅值 U_m 和电流幅值 I_m ;
- c) 利用环形纳米晶磁芯相对幅值磁导率计算公式计算磁芯的相对幅值磁导率 μ_{ai} 。

5.1.2 比总损耗检测

比总损耗检测步骤如下:

- a) 准备高精度功率测量仪、天平、交流电源等设备;
- b) 使用天平准确测量纳米晶磁芯的质量 m (单位: kg) ;
- c) 将纳米晶磁芯接入交流测试电路, 设置交流电源频率 f 和磁场强度幅值 H_m 至规定值;
- d) 开启交流电源, 待电路稳定后, 使用功率测量仪测量磁芯的输入功率 P ;
- e) 根据公式计算比总损耗 P_c , 计算公式如下:

$$P_c = P/m \dots\dots\dots (2)$$

式 (2) 中:

P_c : 比总损耗 (W/kg) ;
 P : 磁芯输入功率 (W) ;
 m : 磁芯质量 (kg) 。

5.1.3 比视在功率检测

比视在功率检测步骤如下:

- a) 准备视在功率测量仪、天平、交流电源等设备;
- b) 用天平测量纳米晶磁芯的质量 m ;

- c) 将纳米晶磁芯连接到交流电路中，设定交流电源的频率 f 、电压幅值 U_m 和电流幅值 I_m 至规定值；
- d) 开启交流电源，待电路稳定后，使用视在功率测量仪测量磁芯的视在功率 S ；
- e) 按照公式计算比视在功率 S_c ，计算公式如下：

$$S_c = S/m \quad \dots\dots\dots (3)$$

式(3)中：

S_c ：比视在功率（VA/kg）；

S ：磁芯视在功率（VA）；

m ：磁芯质量（kg）。

5.2 静态磁性能检测

5.2.1 饱和磁感应强度检测

纳米晶磁芯饱和磁感应强度检测步骤如下：

- a) 准备直流磁场发生装置（如电磁铁、亥姆霍兹线圈等）、特斯拉计、直流电源等设备；
- b) 将纳米晶磁芯放置在直流磁场发生装置的均匀磁场区域内，连接好特斯拉计用于测量磁芯中的磁感应强度 B ；
- c) 开启直流电源，逐渐增大直流电流，从而缓慢增大磁场强度 H ，同时实时记录特斯拉计测量的磁感应强度 B 值。
- d) 当继续增大磁场强度 H ，而磁感应强度 B 的增加量小于规定阈值时，此时记录的磁感应强度 B 即为饱和磁感应强度 B_s 。

5.2.2 剩余磁感应强度和矫顽力检测

纳米晶磁芯剩余磁感应强度和矫顽力检测步骤如下：

- a) 利用直流磁场发生装置和直流电源对纳米晶磁芯进行饱和磁化，使磁芯达到饱和磁感应强度 B_s ；
- b) 缓慢减小直流电源输出电流，使磁场强度 H 逐渐降为零，此时特斯拉计测量的磁感应强度即为剩余磁感应强度 B_r ；
- c) 改变直流电源极性，施加反向磁场，逐渐增大反向磁场强度 H ，同时记录特斯拉计测量的磁感应强度 B 值；
- d) 当磁感应强度 B 降为零时，此时的反向磁场强度 H 即为矫顽力 H_c 。若使用磁滞回线测试仪，可直接通过仪器测量并绘制磁滞回线，从磁滞回线中读取剩余磁感应强度 B_r 和矫顽力 H_c 的值。

6 检测结果处理

6.1 数据记录

检测过程中应详细记录检测环境条件、试样信息、仪器设备参数、测量数据等。所有数据应准确、清晰、完整，不得随意涂改。若数据记录有误，应采用杠改法进行修改，并在修改处签名和注明修改日期。

6.2 数据处理

6.2.1 对同一试样进行多次检测时，应计算检测结果的算术平均值作为最终检测结果。若检测数据的离散性较大，应分析原因，必要时重新进行检测。

6.2.2 计算结果应保留适当的有效数字，相对幅值磁导率保留三位有效数字，比总损耗、比视在功率保留四位有效数字，饱和磁感应强度、剩余磁感应强度保留三位有效数字，矫顽力保留两位有效数字。

6.3 检测结果判定

将检测结果与产品技术要求或相关标准进行对比，若检测结果符合要求，则判定该试样合格；若有一项或多项指标不符合要求，则判定该试样不合格。对于不合格试样，应进行复检，复检仍不合格的，判定该批次产品不合格。

7 检测报告

检测报告应至少包括以下内容：

- 报告编号、委托单位、受检单位信息；
 - 试样名称、型号、规格、生产批次、抽样数量等；
 - 检测依据、检测环境条件；
 - 检测项目、检测方法、检测设备信息；
 - 检测结果及判定结论；
 - 检测日期、检测人员和审核人员签名；
 - 其他需要说明的事项。
-