



中华人民共和国国家标准

GB/T 19345.1—2017
部分代替 GB/T 19345—2003

非晶纳米晶合金 第 1 部分：铁基非晶软磁合金带材

Amorphous and nanocrystalline alloys—
Part 1: Fe-based amorphous soft magnetic alloy strips

2017-10-14 发布

2018-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

目 次

前言	Ⅲ
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 分类与牌号表示方法	1
5 一般要求	2
6 技术要求	3
7 检查和测量	6
8 包装、贮存、标志和质量证明书	7
9 订货内容	8
附录 A (资料性附录) 铁基非晶软磁合金带材的部分基本物理参数	9
附录 B (规范性附录) 非晶合金单片试样交流磁性能的测量方法	10
附录 C (规范性附录) 非晶合金带材叠片系数的测量方法	17
附录 D (规范性附录) 非晶合金带材韧性的测量方法	20

前 言

GB/T 19345《非晶纳米晶合金》拟分为若干部分,本部分为 GB/T 19345 的第 1 部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 19345—2003《非晶纳米晶软磁合金带材》中铁基非晶软磁合金部分。

与 GB/T 19345—2003 相比,本部分主要变化如下:

- 名称更改为《非晶纳米晶合金 第 1 部分:铁基非晶软磁合金带材》;
- 调整了标准文本结构;
- 增加了术语和定义;
- 增加了带材的分类、产品牌号命名规则;
- 修改了带材的磁性能指标;
- 修改了带材的尺寸偏差范围;
- 修改了对取样、试样制备和测量的相关规定;
- 修改了带材韧性的检验方法和要求;
- 增加了带材叠片系数和单片试样交流磁性能的测量方法;
- 细化了对包装、贮存、标志和质量证明书的要求。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本部分起草单位:中国钢研科技集团有限公司、冶金工业信息标准研究院、长沙天恒测控技术有限公司。

本部分主要起草人:卢志超、陈文智、栾燕、李德仁、刘国栋、李准、周新华、邹学良。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为:

- GB/T 19345—2003。

非晶纳米晶合金

第1部分：铁基非晶软磁合金带材

1 范围

GB/T 19345 的本部分规定了用快淬工艺制造的铁基非晶软磁合金带材的术语和定义、分类与牌号表示方法、一般要求、技术要求、检查和测量、包装、贮存、标志和质量证明书。

本部分适用于制作配电变压器、中频变压器、电抗器、滤波电感等铁芯用铁基非晶软磁合金带材（以下简称带材）。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 9637 电工术语 磁性材料与元件

GB/T 13012 软磁材料直流磁性能的测量方法

GB/T 15019 快淬金属分类和牌号

GB/T 19346.1 非晶纳米晶合金测试方法 第1部分：环形试样交流磁性能

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 9637 和 GB/T 15019 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

比总损耗 **specific total loss**

单位质量的均匀磁化材料所吸收的总功率，单位为瓦特每千克(W/kg)。

3.2

比视在功率 **specific apparent power**

比表观功率

传递给单位质量的均匀磁化材料的总视在功率，单位为伏安每千克(VA/kg)。

3.3

叠片系数 **lamination factor**

磁性材料所占的横截面积与堆积体总横截面积之比。

3.4

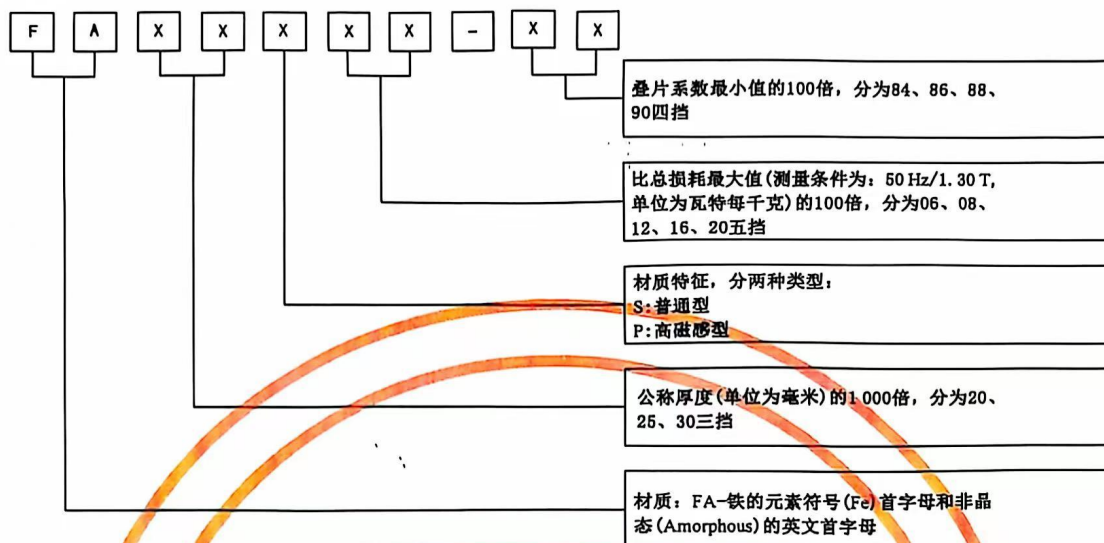
半工艺 **semi-processed**

供货时未进行最终热处理、而由用户进行最终热处理的产品状态。

4 分类与牌号表示方法

带材的牌号采用化学元素符号和英文字母与阿拉伯数字相结合由一个连接符连接的方法表示。带

材牌号表示的一般形式为：



示例：

FA25S12-84 表示公称厚度为 0.025 mm、材质为普通型、比总损耗(频率 50 Hz/磁极化强度 1.30 T)不大于 0.12 W/kg、叠片系数不小于 0.84 的铁基非晶合金带材。

5 一般要求

5.1 生产工艺

带材的生产工艺和化学成分由供方决定。

5.2 供货形式

5.2.1 带材一般以带卷的形式交货。带卷的形式分为两种：

- 由一层带材卷绕而成的单层卷；
- 由多层带材同时卷绕而成的复合卷。

5.2.2 带卷应由同一宽度的带材卷成，中心衬以硬纸质、塑料或金属卷轴。

5.2.3 带卷的端面应尽量平整，最大轴向高度应不大于带材公称宽度的 1.05 倍。

5.2.4 带卷的端面应无锈蚀、无手印、无异物、无损伤。

5.2.5 带卷应卷绕紧密，无局部松弛、无皱褶、无塌陷，在搬运时不会因自重而塌卷，在放卷时不发生横向偏移。

5.2.6 带材可能由于去除缺陷而产生接带。接带前后部分应为同一牌号、同一公称宽度。接带处应做出标记，连接应整齐且不影响后续加工的正常运行。接带处如果采用其他材料连接，连接材料的材质应确保不损害带材在热处理前后的性能。如果带材在最终使用过程中与液体接触，连接材料不应与所接触的液体发生化学反应。

5.2.7 对带材交货形式的特殊要求可由供需双方协商确定。

5.3 交货条件

带材一般以无表面涂层的、非剪切的半工艺状态(制备态)交货。特殊要求可由供需双方协商确定。

5.4 表面质量

- 5.4.1 带材表面不应有锈蚀、油脂、手印、异物以及连续可见的氧化现象。
- 5.4.2 带材表面允许有直径不大于 1.0 mm 的针孔,但每平方米不应多于 1 个。
- 5.4.3 带材应平整光滑,不应有分条、毛边、凹坑、皱褶、折叠或影响使用的其他缺陷,带材边缘不应有目视可见的裂口和毛刺。

5.5 剪切适应性

当使用适当的设备剪切时,带材的任意部位都应能够被剪切成通常的形状。

6 技术要求

6.1 物理性能

6.1.1 以半工艺状态(制备态)交货的带材应经过适当的热处理后才能获得所希望的磁性能,而带材的磁性能与取样和制样方法、试样形状和尺寸、试样热处理制度和测量方法等因素有关。因此,供方在提供带材磁性能数据的同时,应说明试样形状与尺寸、试样的热处理制度、测量方法、测量设备和测量条件。

注:带材的最终热处理一般由需方在加工成铁芯后进行。因此,需方在使用带材制造铁芯时,在参考供方提供的磁性能数据和推荐热处理制度的基础上,可根据自身的工艺装备状况,通过试验确定最佳热处理制度,以获得所希望的最佳磁性能。

6.1.2 带材的磁性能应分别符合表 1、表 2 和表 3 的规定。热处理工艺由供方提供,并在质量证明书中注明。对磁性能的特殊要求可由供需双方协商确定。

表 1 铁基非晶软磁合金带材的几何特性和直流磁性能

类别	牌号 ^a	公称厚度 mm	叠片系数 不小于	磁通密度 B_{50}^b T 不小于	磁通密度 B_{500}^b T 不小于	矫顽力 H_c A/m 不大于
S 型	FA××S06- * *	0.020 0.025 0.030	0.84 0.86 0.88 0.90	1.35	1.50	2.5
	FA××S08- * *					
	FA××S12- * *					
	FA××S16- * *					
	FA××S20- * *					
P 型	FA××P06- * *	0.030	0.90	1.50	1.60	2.5
	FA××P08- * *					
	FA××P12- * *					
	FA××P16- * *					
^a 牌号中的××表示带材公称厚度(0.020 mm、0.025 mm 和 0.030 mm 中的任意一个)的 1 000 倍; * * 表示带材叠片系数最小值(0.84、0.86、0.88 和 0.90 中的任意一个)的 100 倍。 ^b 磁通密度 B 的下标表示测量时所施加的磁场强度,其单位为安培每米(A/m)。						

表 2 铁基非晶软磁合金带材在频率 50 Hz 和 60 Hz 下交流磁性能

类别	牌号 ^a	在 50 Hz(60 Hz)下交流磁性能					
		$\hat{J}=1.30\text{ T}$		$\hat{J}=1.35\text{ T}$		$\hat{J}=1.40\text{ T}$	
		比总损耗 P , W/kg	比视在功率 S , VA/kg	比总损耗 P , W/kg	比视在功率 S , VA/kg	比总损耗 P , W/kg	比视在功率 S , VA/kg
		不大于					
S 型	FA20S06- **	0.06 (0.08)	0.09 (0.12)	0.07 (0.09)	0.10 (0.15)	0.09 (0.11)	0.12 (0.18)
	FA20S08- **	0.08 (0.11)	0.12 (0.17)	0.10 (0.12)	0.15 (0.20)	0.12 (0.14)	0.18 (0.24)
	FA20S12- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA25S06- **	0.06 (0.08)	0.09 (0.12)	0.07 (0.09)	0.10 (0.15)	0.09 (0.11)	0.12 (0.18)
	FA25S08- **	0.08 (0.11)	0.12 (0.17)	0.10 (0.12)	0.15 (0.20)	0.12 (0.14)	0.18 (0.24)
	FA25S12- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA30S12- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA30S16- **	0.16 (0.20)	0.22 (0.28)	0.18 (0.23)	0.26 (0.32)	0.21 (0.26)	0.30 (0.36)
	FA30S20- **	0.20 (0.25)	0.28 (0.35)	0.23 (0.30)	0.32 (0.40)	0.27 (0.35)	0.36 (0.45)
P 型	FA25P06- **	0.06 (0.08)	0.09 (0.12)	0.07 (0.09)	0.10 (0.15)	0.09 (0.11)	0.12 (0.18)
	FA25P08- **	0.08 (0.11)	0.12 (0.17)	0.10 (0.12)	0.15 (0.20)	0.12 (0.14)	0.18 (0.24)
	FA25P12- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA25P16- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA30P08- **	0.08 (0.11)	0.12 (0.17)	0.10 (0.12)	0.15 (0.20)	0.12 (0.14)	0.18 (0.24)
	FA30P12- **	0.12 (0.15)	0.17 (0.22)	0.14 (0.17)	0.20 (0.26)	0.16 (0.20)	0.24 (0.30)
	FA30P16- **	0.16 (0.20)	0.22 (0.28)	0.18 (0.23)	0.26 (0.32)	0.21 (0.26)	0.30 (0.36)
$\hat{J}$ 为测量时材料的磁极化强度的峰值。 磁极化强度 J 与磁通密度 B 的关系为: $J = B - \mu_0 H$ 式中: J ——磁极化强度,单位为特斯拉(T); B ——磁通密度,单位为特斯拉(T); μ_0 ——真空磁导率,其值为 $4\pi \times 10^{-7}$ 亨利每米(H/m); H ——磁场强度,单位为安培每米(A/m)。							
^a ** 表示带材叠片系数最小值(0.84、0.86、0.88 和 0.90 中的任意一个)的 100 倍。							

表 3 铁基非晶软磁合金带材中高频交流磁性能

类别	牌号 ^a	比总损耗			
		$P_{s1.0/400}$ W/kg	$P_{s1.0/1k}$ W/kg	$P_{s0.5/10k}$ W/kg	$P_{s0.5/20k}$ W/kg
		不大于			
S 型	FA20S06- **	1.5	5	70	125
	FA20S08- **	2	10	90	175
	FA20S12- **	3	15	120	225
	FA25S06- **	2	10	75	175
	FA25S08- **	2.5	13	95	225
注：比总损耗 P_s 后面的下标表示测量时的磁通密度峰值/频率。 例如： $P_{s1.0/400}$ 表示在频率 $f=400$ Hz、磁通密度峰值 $B=1.0$ T 下的比总损耗。					
^a ** 表示带材叠片系数最小值(0.84、0.86、0.88 和 0.90 中的任意一个)的 100 倍。					

6.1.3 带材的其他基本物理参数参见表 A.1。

6.2 几何特性

6.2.1 厚度和允许偏差

6.2.1.1 带材的公称厚度为 0.020 mm、0.025 mm、0.030 mm。

6.2.1.2 带材的厚度允许偏差应符合表 4 的规定。特殊要求可由供需双方协商确定。

表 4 铁基非晶合金带材的厚度允许偏差 单位为毫米

公称厚度偏差 ^a	横向厚度偏差 ^b	纵向厚度偏差 ^c
不大于		
±0.002	±0.002 5	±0.002 5
^a 指同一批次内公称厚度的允许偏差。 ^b 指垂直于带材铸造方向上的厚度允许偏差。 ^c 指平行于带材铸造方向上 2 000 mm 长度内的厚度允许偏差。		

6.2.2 宽度和允许偏差

6.2.2.1 带材宽度范围为 10 mm～300 mm。具体尺寸应在合同中确定。

6.2.2.2 带材的宽度允许偏差应符合表 5 的规定。特殊要求可由供需双方协商确定。

表 5 铁基非晶合金带材的宽度允许偏差 单位为毫米

公称宽度	宽度允许偏差, 不大于
10～100	±0.30
>100	±0.50

6.3 技术特性

6.3.1 密度

用于计算带材磁性能和叠片系数的密度由供方提供。

6.3.2 叠片系数

带材的叠片系数应符合表 1 的规定。

6.3.3 韧性

带材试样按本标准附录 D 检验后,其韧性值应不大于 4.0。

7 检查和测量

7.1 一般要求

7.1.1 带材应按批提交检查和测量。每个铸造炉次为一个验收批。

7.1.2 当带材以分卷的形式供货时,原验收批上的测量结果适用于该分卷。

7.1.3 当带材以复合卷的形式供货时,应对每一层带材进行检查和测量,并对所有层的性能取平均值作为该复合卷的性能。

7.1.4 根据需方要求,并在合同中注明,供方可通过增加取样和试验频次等方法检查带材质量一致性。

7.2 取样

7.2.1 每批带材应分别在头、尾各取一个试样。当一个铸造炉次连续生产多个带卷时,应在每个带卷的尾部取一个试样。特殊要求可由供需双方协商确定。

7.2.2 试样不应有因机械损伤产生的皱褶、凹坑、破裂等缺陷,试样表面应清洁。

7.2.3 在带卷上取样时,为了防止表面污染或机械损伤等因素对测量结果的干扰,取样应从带卷头部和尾部的第二层开始。

7.2.4 通过合理地安排测量次序,同一副试样可以用于测量多种特性。

7.3 试样制备

7.3.1 物理性能

7.3.1.1 用环形试样测量直流磁性能和交流磁性能

用环形试样测量直流磁性能和交流磁性能应分别按照 GB/T 13012 和 GB/T 19346.1 规定的方法将带材卷绕成环形试样,然后采用供方推荐的制度热处理。试样在热处理过程中,应使用非铁磁性金属或陶瓷衬环支撑试样内窗口,以防止试样发生变形。衬环的外径应与试样内径接近,高度与试样相当。试样的热处理应在保护气氛中进行,以防止表面氧化。

7.3.1.2 用单片测量仪测量 50 Hz 和 60 Hz 交流磁性能

用单片测量仪测量频率在 50 Hz 和 60 Hz 下交流磁性能的试样制备应符合 B.3 的要求。

7.3.2 几何特性

7.3.2.1 用于测量厚度的试样制备应符合 C.1.1 的要求。

7.3.2.2 用于测量宽度的试样通常为长度 200 mm 的带材。

7.3.3 技术特性

7.3.3.1 用于制作配电变压器铁心的带材,其测量叠片系数的试样制备应符合 C.1.1 的要求。

7.3.3.2 用于制作卷绕铁芯的带材,其测量叠片系数的试样制备应符合 C.1.2 的要求。

7.3.3.3 用于测量韧性的试样制备应符合 D.1 的要求。

7.4 测量方法

7.4.1 物理性能

7.4.1.1 用环形试样测量直流磁性能的测量方法按 GB/T 13012 的规定进行。

7.4.1.2 用环形试样测量交流磁性能的测量方法按 GB/T 19346.1 的规定进行。

7.4.1.3 用单片试样测量 50 Hz 和 60 Hz 磁性能的测量方法按附录 B 的规定进行。

7.4.2 几何特性

7.4.2.1 按 C.2.1 规定的方法测量试样叠层总厚度的平均值,然后将试样叠层总厚度的平均值除以试样叠层的层数作为带材的厚度。

7.4.2.2 带材的宽度沿垂直于带材铸造方向、使用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量。

7.4.3 技术特性

7.4.3.1 用于制作配电变压器铁心的带材,其叠片系数的测量方法按 C.2.1 的规定进行。

7.4.3.2 用于制作卷绕铁芯的带材,其叠片系数的测量方法按 C.2.2 的规定进行。

7.4.3.3 带材的韧性的测量方法按附录 D 的规定进行。

7.5 复检与判定规则

若某一检验项目不合格时,允许取双倍数量的试样进行复验。复验结果如有一个不合格,则该批带材判为不合格。对磁性能复验不合格的带材,允许调整热处理制度重新检验和判定。

8 包装、贮存、标志和质量证明书

8.1 包装

带卷应采用防潮包装,保证带材在未开箱条件下 6 个月内不发生因锈蚀导致的质量退化。带卷应装入包装箱中且保证不能窜动。包装箱应便于机械搬运,应保证带卷在贮存和运输过程中不损坏。

8.2 贮存

包装后的带材应贮存在干燥通风环境中,避免在潮湿或有腐蚀性气体的环境中存放。带卷的卷轴应垂直于水平面放置。

8.3 标志

带卷的卷轴和包装箱上均应标有牢固的、满足可追溯性要求的标识。

8.4 质量证明书

每批交货的带材应附有证明该批带材符合本部分规定及订货合同的质量证明书。质量证明书应包

含以下内容：

- a) 供方名称；
- b) 需方名称；
- c) 合同号；
- d) 产品名称与牌号；
- e) 本部分编号；
- f) 尺寸；
- g) 重量；
- h) 生产批号；
- i) 推荐的热处理制度；
- j) 本部分技术要求中所规定的各项指标；
- k) 供方需提供的信息(如密度、晶化温度等)；
- l) 需方要求提供的其他信息；
- m) 供方有关部门的印记；
- n) 发货日期或生产日期。

9 订货内容

按本部分订货的合同或订单应包括以下内容：

- a) 本部分编号；
- b) 牌号；
- c) 尺寸；
- d) 重量；
- e) 性能要求；
- f) 由供需双方协商，并在合同中注明的项目或指标。

附 录 A
(资料性附录)

铁基非晶软磁合金带材的部分基本物理参数

铁基非晶软磁合金带材的部分基本物理参数的典型值见表 A.1。

表 A.1 铁基非晶软磁合金带材的部分基本物理参数的典型值

材料 牌号	类型	居里温度 T_c	晶化温度 T_x	密度 ρ_m	电阻率 ρ	饱和磁通密度 B_s	饱和磁致伸缩系数 λ_s
		℃		g/cm^3	$\mu\Omega \cdot \text{cm}$	T	
1K101	S 型	415	510	7.20	130	1.56	27×10^{-6}
1K102	P 型	370	480	7.33	125	1.61	30×10^{-6}

注：本表所提供的数据是基于对部分现有产品的测量结果基础上的，它们会随材料化学成分的差异而有所不同。因此，数据仅用于参考。如果需要使用这些数据对产品判定、产品设计或生产工艺调整，建议使用供方提供的实际测量值。

附录 B

(规范性附录)

非晶合金单片试样交流磁性能的测量方法

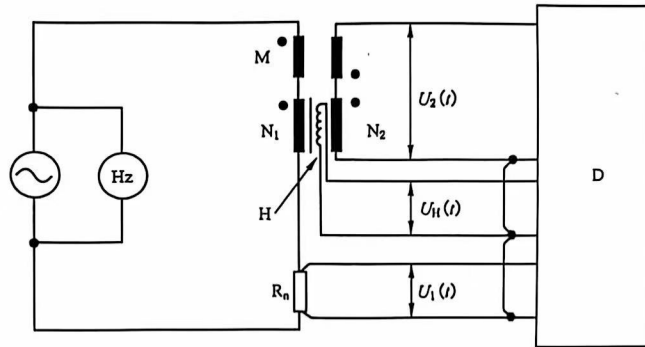
B.1 适用范围

本附录规定了用单片测量仪测量非晶合金单片试样在规定的频率和磁场条件且感应电压为正弦状态下的交流磁性能的方法。

本附录适用于非晶合金单片试样在工频(50 Hz 或 60 Hz)下交流磁性能的测量。在确认的设备条件和试样状态情况下可扩展到 400 Hz 的交流磁性能的测量。

B.2 原理

B.2.1 本附录采用 H 线圈法。测量数据的获取应使用整周期同步采样技术。测量原理见图 B.1。



说明：

~ —— 电源(通常由一个可控的任意波形发生器和一个功率放大器组成)；

Hz —— 频率计；

N_1 —— 初级绕组；

N_2 —— 次级绕组；

H —— H 线圈；

R_n —— 无感精密电阻器，串联在初级绕组中，用于测量励磁电流；

D —— 测量装置(通常由前置放大器、数字转换器和数字信号分析仪组成)；

$U_2(t)$ —— 次级线圈感应电压；

$U_H(t)$ —— H 线圈感应电压；

$U_1(t)$ —— 无感精密电阻器 R_n 两端的电压；

M —— 空气磁通补偿线圈；如采用空气磁通数字补偿，可以无此部件。

以下信号需通过测量装置进行实时波形记录：

—— 次级线圈感应电压 $U_2(t)$ ；

—— H 线圈感应电压 $U_H(t)$ 。

—— 初级线圈中串联的无感精密电阻器 R_n 两端的电压 $U_1(t)$ 。

图 B.1 H 线圈法测量原理示意图

B.2.2 为了获取完整的测量信息， $U_H(t)$ 、 $U_2(t)$ 和 $U_1(t)$ 的采样时间都应是磁化周期的整数倍。H 线圈中感应电压 $U_H(t)$ 和次级绕组感应电压 $U_2(t)$ 应通过测量装置同步采样并完整记录整周期信号波

形。磁场强度 $H(t)$ 、磁极化强度 $J(t)$ 、比总损耗 P 、和比视在功率 S ，由 $U_H(t)$ 和 $U_2(t)$ 计算得出。 $U_1(t)$ 可用于磁化电流测量等。

B.3 试样

B.3.1 沿带材铸造方向截取长度为 280 mm~300 mm 的条带试样。

B.3.2 试样应平直，无明显的毛刺或机械变形。

B.3.3 试样应采用供方推荐的制度热处理。试样在热处理过程中，应使用非铁磁性金属或非金属平板支撑试样，使试样保持平整状态。试样的热处理应在保护气氛中进行，以防止表面氧化。

B.3.4 用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量试样的长度。用检定分度值不大于试样质量 0.1% 的天平称量试样的质量。

B.3.5 试样的有效截面积按式(B.1)计算：

$$A = \frac{m}{l_m \rho_m} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中：

A ——试样的横截面积，单位为平方米(m^2)；

m ——试样的质量，单位为千克(kg)；

l_m ——试样的长度，单位为米(m)；

ρ_m ——材料的密度，单位为千克每立方米(kg/m^3)。

B.3.6 试样在测量前应进行交流退磁。

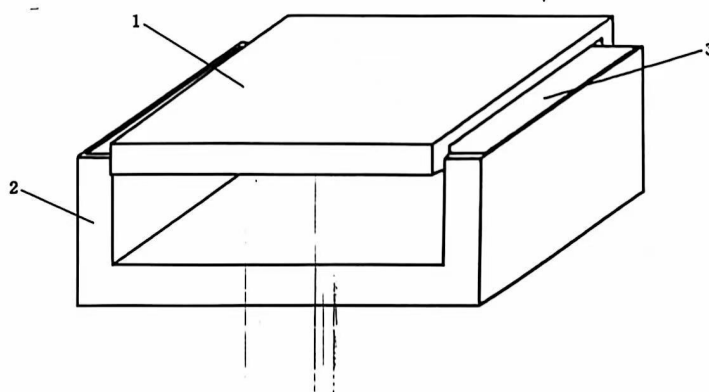
B.4 测量环境

如无特殊要求，测量应在温度 $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度小于 90% 的室内环境下进行。

B.5 测量用主要仪器

B.5.1 磁导计

磁导计包括 U 形磁轭和具有三只绕组的线圈，其相互关系见图 B.2。



说明：

1——线圈；

2——磁轭；

3——试样。

图 B.2 磁导计与试样相互关系示意图

B.5.1.1 磁轭

B.5.1.1.1 磁轭的横截面积应远大于试样的横截面积。

注：附加一个上磁轭会使具有较大磁致伸缩的物质如铁基非晶片(带)的磁性能恶化。因此，测量试样磁性能时不放置上磁轭。但上磁轭仍然有必要，主要用于对磁轭进行退磁及测量磁轭的损耗。

B.5.1.1.2 磁轭应由低剩磁、低磁阻和低损耗的软磁材料组成。

注 1：磁轭材料的性能会影响试样的磁性能测量结果。

注 2：磁轭的损耗可用一个带初、次级绕组的上磁轭与磁导计组成闭合磁路来测量，初、次级匝数为 25 匝。

B.5.1.1.3 磁轭的磁极面宽度应为 $20\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。

B.5.1.1.4 磁轭的两个磁极面应为平面并且共面，其公差应小于 0.1 mm 。磁轭应具有刚性。

B.5.1.1.5 磁轭的高度应为 $80\text{ mm} \sim 120\text{ mm}$ 。磁轭的宽度应为 $220\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ，内侧长度应为 $240\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。

B.5.1.1.6 磁轭的尺寸见图 B.3。

单位为毫米

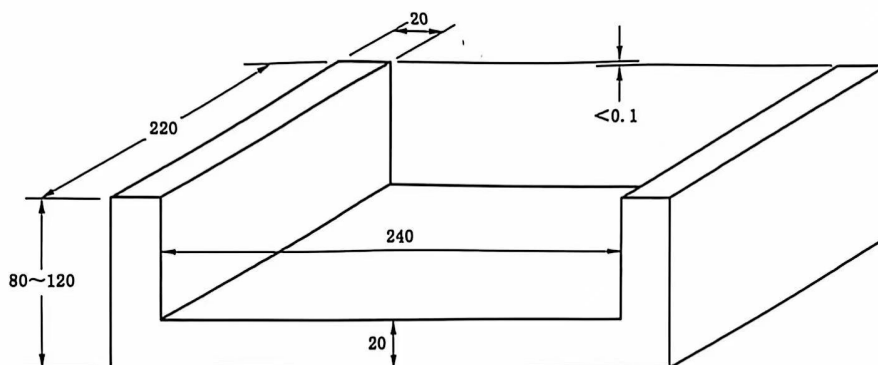


图 B.3 磁轭尺寸示意图

B.5.1.1.7 在磁轭竖直臂之间应有放置试样用的非铁磁性电绝缘支撑物。该支撑物上表面及试样下表面应与磁极面在同一平面上，以便使试样与磁极面接触的空气间隙最小。

注：如果支撑物的表面与磁极面不在同一水平面，则会给磁性能测量带来比较大的误差。

B.5.1.2 绕组

B.5.1.2.1 线圈包含框架、外部的初级绕组、内部的次级绕组和位于试样下方的 H 线圈。

B.5.1.2.2 初级绕组至少应长 230 mm ，用一个在整个长度上连续均匀缠绕的线圈制成。用铜芯直径为 1.0 mm 的漆包线绕 220 匝并均匀分布在整個框架上，可以绕制一层或多层。

B.5.1.2.3 次级绕组的长度为 $100\text{ mm} \sim 120\text{ mm}$ ，并位于初级绕组的中心位置，其匝数取决于测量仪器的特性，一般只需绕一层。

B.5.1.2.4 初级绕组和次级绕组应绕制在非铁磁性电绝缘矩形框架上。框架的尺寸如下：

- a) 用于绕组部分的长度： $235\text{ mm} \pm 5\text{ mm}$ ；
- b) 内部宽度： $220\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ；
- c) 内部高度： $3\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ；
- d) 外部高度： $\leq 12\text{ mm}$ 。

B.5.1.2.5 H 线圈的长度和次级绕组的长度相同，并位于初级绕组的中心位置。H 线圈应绕制在非铁

磁性电绝缘矩形板上。板的宽度为 100 mm~120 mm,高度不大于 3 mm。

B.5.1.2.6 H 线圈应嵌入样品支撑物中,且支撑物表面与 H 线圈表面之间的间距应小于 1 mm。

B.5.1.2.7 H 线圈和次级线圈应在安装前进行匝面积测量,其准确度应优于 $\pm 0.3\%$ 。

B.5.1.3 空气磁通补偿

B.5.1.3.1 在低磁场强度下进行比总损耗的测量时,空气磁通可以不补偿。

B.5.1.3.2 在测量磁极化强度时应空气磁通进行补偿,这可以通过互感线圈来实现。互感线圈的初级绕组与磁导计的初级绕组串联,互感线圈的次级绕组与磁导计的次级绕组反向串联。互感线圈互感值的确定方法为:当磁导计中无试样时,在初级励磁绕组中通过合适的交流电流,使在次级绕组和互感线圈串联后测量的电压不大于磁导计在有试样且磁极化强度峰值 $\hat{J} = 1.0 \text{ T}$ 时次级感应绕组电压的 0.1%。在满足上述条件的情况下,串联的次级绕组中感应电压绝对值的平均值正比于试样中磁极化强度的峰值。

B.5.1.3.3 磁导计亦可采用空气磁通数字补偿。

B.5.1.4 磁屏蔽

带材的磁导率很高,最好安装一个磁屏蔽罩,以防止地磁场对样品的磁化。

B.5.2 交流磁化电源

B.5.2.1 电源的组成

电源由一个程控的任意波形发生器和一个功率放大器或者集成这两种功能的仪器组成。次级电压的波形应尽可能地保持正弦。不仅应保持次级电压的波形因数在 (1.111 ± 0.011) 之内,而且应使次级电压的谐波含量尽量少。

B.5.2.2 任意波形发生器

B.5.2.2.1 任意波形发生器将合成一个幅值和频率均可通过外部编程调节的磁化波形信号,D/A 转换器与外部时钟同步连续地将信号转换为电压。该外部时钟与测量装置的 A/D 转换器的采样时钟也应同步。

B.5.2.2.2 D/A 转换器应有足够高的分辨率,且一个磁化周期中采样点应足够多。在任意波形发生器和功率放大器中应插入一个低通滤波器,可以减少在数字测量设备中引入高次谐波。

B.5.2.3 功率放大器

B.5.2.3.1 功率放大器应具有低输出阻抗和高稳定度的电压和频率,输出电压噪声足够低。测量过程中,电压和频率应始终稳定在 $\pm 0.2\%$ 范围内。

B.5.2.3.2 功率放大器应选用双极性的低噪声放大器,并具有较好的带宽及压摆率和低的输出阻抗。使之既可以输出功率也可以吸收能量,适合于驱动感性负载。

B.5.3 无感精密电阻器

B.5.3.1 励磁电流的测量使用一个精度优于 $\pm 0.1\%$ 的无感精密电阻器。为了减小磁极化强度波形的失真,电阻值一般不超过 1Ω ,可根据测量仪器的特性做适当调整。

B.5.3.2 无感精密电阻器应为额定功率满足要求的四端电阻,其两个电流端串联在初级绕组中,两个电压端连接到测量装置的输入通道中。

B.5.4 测量装置

B.5.4.1 测量装置由一个不少于三个 A/D 转换通道的数字转换器和一个数字信号分析仪或集成这两种功能的仪器组成。

B.5.4.2 测量装置通常由已校准的前置放大器和数字化仪、数字信号处理系统等部分组成。仪器至少要有三个独立的信号通道,分别对应于 $U_H(t)$ 、 $U_2(t)$ 和 $U_1(t)$,其采样时钟应与任意波形发生器的时钟保持同步。为了避免增加次级绕组的负载,信号通道应有足够高的输入阻抗和低的输入容抗。

注:数字转换器输入阻抗和容抗的典型值分别为 $1\text{ M}\Omega$ 和 100 pF 。

B.5.4.3 为了保证最低功率因数下的比总损耗测量准确,通道之间的相位移应足够小。

A/D 转换器分辨率应足够高以减少数字化的误差,推荐使用 16 位或更高分辨率的转换器。还应具有足够高的采样速率,建议一个磁化周期内采样次数不得小于 512 次。

B.5.4.4 由数字转换器处理的几组信号数据传输到数字信号分析仪中,数字信号分析仪计算这些信号波形来确定样品的磁特性。数字分析仪产生数字反馈信号给波形发生器来保证次级电压的波形系数满足要求。

B.6 电源调整

B.6.1 通过数字转换器在一个或几个磁化周期中测量 $U_H(t)$ 和 $U_2(t)$,然后计算得到磁极化强度峰值 $\hat{J}$ 和磁场强度峰值 $\hat{H}$ 的值。

B.6.2 电源的输出应缓慢增加直到 $\hat{J}$ 或 $\hat{H}$ 达到设定值,在测量过程中电源的输出一般不应下降。

B.6.3 次级电压的波形 $dJ(t)/dt$ 应保证波形因数在 (1.111 ± 0.011) 之内。

B.6.4 $H(t)$ 和 $J(t)$ 构成的磁滞回线应该与原点成中心对称图形。

B.7 磁极化强度的测定

磁极化强度 $J(t)$ 按式(B.2)计算:

$$J(t) = -\frac{1}{N_2 A} \int_0^t U_2(t) dt + J(0) \quad \text{.....(B.2)}$$

式中:

$J(t)$ —— t 时刻的磁极化强度,单位为特斯拉(T);

N_2 ——次级绕组的匝数;

A ——试样的横截面积,单位为平方米(m^2);

$U_2(t)$ —— t 时刻的次级感应电压,单位为伏特(V);

$J(0)$ —— $t=0$ 时的磁极化强度,单位为特斯拉(T)。

B.8 磁场强度的测定

磁场强度 $H(t)$ 按照式(B.3)计算:

$$H(t) = -\frac{1}{\mu_0 (N_H A_H)} \int_0^t U_H(t) dt + H(0) \quad \text{.....(B.3)}$$

式中:

$H(t)$ —— t 时刻的磁场强度,单位为安培每米(A/m);

- μ_0 ——常数,真空中的磁导率,单位为亨利每米(H/m);
 $N_H A_H$ ——H线圈的绕线面积,单位为平方米(m²);
 $U_H(t)$ —— t 时刻的次级感应电压,单位为伏特(V);
 $H(0)$ —— $t=0$ 时的磁场强度,单位为安培每米(A/m)。

B.9 比总损耗的测定

比总损耗 P ,相当于由 $J(t)$ 和 $H(t)$ 组成的磁滞回线的面积。比总损耗 P ,按式(B.4)计算:

$$P_s = \frac{f}{\rho_m} \int_{t=0}^T H(t) \frac{dJ(t)}{dt} dt = \frac{f}{\rho_m N_2 A} \int_{t=0}^T H(t) U_2(t) dt \quad \text{..... (B.4)}$$

式中:

- P_s ——试样的比总损耗,单位为瓦特每千克(W/kg);
 ρ_m ——材料的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
 f ——频率,单位为赫兹(Hz);
 T ——周期, $T = 1/f$,单位为秒(s);
 N_2 ——次级绕组的匝数;
 A ——试样的横截面积,单位为平方米(m²);
 $H(t)$ —— t 时刻的磁场强度,单位为安培每米(A/m);
 $J(t)$ —— t 时刻的磁极化强度,单位为特斯拉(T);
 $U_2(t)$ —— t 时刻的次级电压,单位为伏特(V)。

B.10 比视在功率的测定

比视在功率 S_s 按式(B.5)计算:

$$S_s = \frac{4Kf}{\rho_m} \tilde{H} \hat{J} \quad \text{..... (B.5)}$$

式中:

- S_s ——试样的比视在功率,单位为伏安每千克(VA/kg);
 K ——波形因数;
 f ——频率,单位为赫兹(Hz);
 ρ_m ——材料的密度,单位为千克每立方米(kg/m³);
 $\tilde{H}$ ——磁场强度 $H(t)$ 的有效值,单位为安培每米(A/m);
 $\hat{J}$ ——磁极化强度 $J(t)$ 的峰值,单位为特斯拉(T)。

B.11 再现性

再现性用相对标准偏差表示。在磁极化强度为 1.0 T~1.5 T 的范围内,比总损耗的再现性应不大于 3%,比视在功率的再现性应不大于 6%。

B.12 测量报告

测量报告应包括以下内容:

GB/T 19345.1—2017

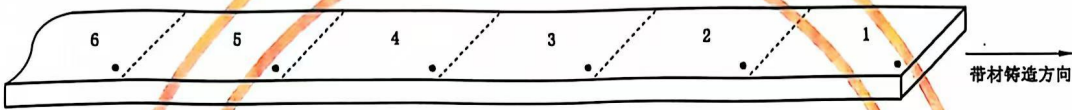
- a) 试样基本参数:试样的名称、编号、质量、密度、尺寸、有效截面积等;
- b) 测量条件:测量频率、磁场强度或磁极化强度、波形系数等;
- c) 使用的测量方法;
- d) 环境温度和湿度;
- e) 测量结果。

附录 C
(规范性附录)
非晶合金带材叠片系数的测量方法

C.1 试样的制备

C.1.1 用于制作配电变压器铁心的带材,其试样的制备方法如下:

- a) 取长度为一个或多个冷却辊周长的连续带材,沿带材铸造方向将其裁剪为至少 20 片相同长度(推荐范围为 75 mm~125 mm)的片材,每片的长度偏差应小于 ± 0.5 mm;带材在裁剪时不应产生碎片,在每片的相同位置做一个标记,见图 C.1;

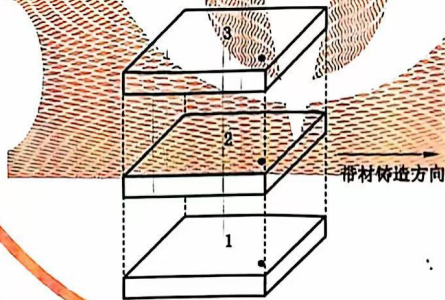


说明:

1~6——表示带材经裁剪后形成的片材试样。

图 C.1 制备叠片系数测量用试样裁剪示意图

- b) 将片材以同方向依次叠放整齐,使每片的标记上下对齐,形成试样叠层,见图 C.2。



说明:

1~3——表示带材经裁剪后形成的片材试样。

图 C.2 试样叠层示意图

C.1.2 用于制作卷绕铁芯的带材,其试样的制备方法如下:

取长度为 10 m 的带材,在张紧力为每 10 mm 带宽 $0.50 \text{ N} \pm 0.05 \text{ N}$ 的条件下卷绕成内径为 10 mm 的圆环试样。

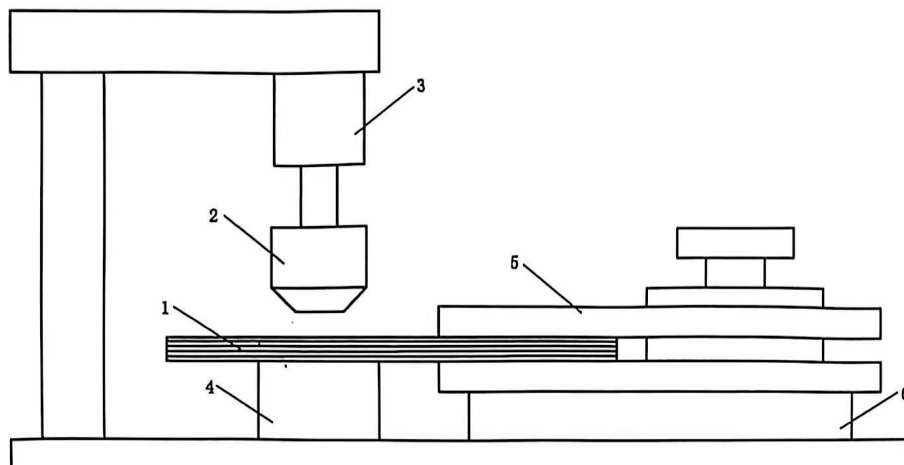
C.2 测量方法

C.2.1 用于制作配电变压器铁心的带材,其叠片系数的测量方法如下:

- a) 用图 C.3 所示的机构将试样叠层夹紧,用最小分度值不大于 0.001 mm、压头直径为 5 mm~15 mm 的量具测量试样叠层总厚度沿垂直于带材铸造方向的分布,取所有测量点总厚度的最

大值 h ；测量时应每个测量点施加 (50 ± 0.5) kPa 的压强，相邻测量点中心之间的间隔应不大于压头直径；

- b) 试样的宽度和长度用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量；
- c) 试样叠层的质量用检定分度值不大于试样叠层质量 0.1% 的天平称量；



说明：

- 1——试样叠层；
- 2——压头；
- 3——位移传感器；
- 4——压力传感器；
- 5——夹具；
- 6——导轨。

图 C.3 测量叠片系数的试样叠层夹持和测量机构示意图

- d) 带材的叠片系数按式(C.1)计算：

$$L_t = \frac{m}{l \cdot b \cdot h \cdot \rho_m} \quad \dots\dots\dots (C.1)$$

式中：

- L_t ——带材的叠片系数；
- m ——试样叠层的总质量，单位为千克(kg)；
- l ——试样的长度，单位为米(m)；
- b ——试样的宽度，单位为米(m)；
- h ——试样叠层总厚度的最大值，单位为米(m)；
- ρ_m ——材料的密度，单位为千克每立方米(kg/m³)。

C.2.2 用于制作卷绕铁芯的带材，其叠片系数的测量方法如下：

- a) 将按 C.1.2 制备好的试样在张紧力为每 10 mm 带宽 $0.50 \text{ N} \pm 0.05 \text{ N}$ 的条件下卷绕成内径为 10 mm 的圆环；
- b) 用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量圆环的内径、外径和高度；
- c) 用检定分度值不大于圆环质量 0.1% 的天平称量圆环的质量；
- d) 带材的叠片系数按式(C.2)计算：

$$L_t = \frac{4m}{\pi \cdot \rho_m \cdot h \cdot (D^2 - d^2)} \quad \dots\dots\dots (C.2)$$

式中:

L_t ——带材的叠片系数;

m ——圆环的质量,单位为千克(kg);

h ——圆环的高度,单位为米(m);

D ——圆环的外径,单位为米(m);

d ——圆环的内径,单位为米(m);

ρ_m ——材料的密度,单位为千克每立方米(kg/m³)。

附 录 D
(规范性附录)
非晶合金带材韧性的测量方法

D.1 试样的制备

试样为长度 1 000 mm 的带材。

D.2 测量方法

- D.2.1 对于宽度大于 100 mm 的带材,沿垂直于试样的铸造方向确定 5 个位置:距带材两个铸造边缘 20 mm 处、40 mm 处和带材宽度中心;分别从这些位置将试样沿带材铸造方向撕断。
- D.2.2 对于宽度在 50 mm~100 mm 之间的带材,沿垂直于试样的铸造方向确定两个位置:距带材两个铸造边缘 20 mm 处;分别从这些位置将试样沿带材铸造方向撕断。
- D.2.3 对于宽度小于 50 mm 的带材,将试样从带材宽度中心沿铸造方向撕断。
- D.2.4 记录每条撕裂路径上台阶高度大于 6 mm 的台阶数量。
- D.2.5 按表 D.1 评定每条撕裂路径的韧性级别。
- D.2.6 取所有撕裂路径的韧性级别平均值作为该试样的韧性值。所得出的韧性值应修约到小数点后一位。

表 D.1 带材韧性级别评定表

级别	评级原则
1	撕裂路径上 6 mm 以上的台阶个数为 0
2	撕裂路径上 6 mm 以上的台阶个数为 1~3
3	撕裂路径上 6 mm 以上的台阶个数为 4~6
4	撕裂路径上 6 mm 以上的台阶个数为 7~9
5	撕裂路径上 6 mm 以上的台阶个数为 10 个或以上、或者在撕开过程中被撕开的一条带材从试样上脆性断开

ICS 77.140.40, 77.140.99
H 58



中华人民共和国国家标准

GB/T 19345.2—2017
部分代替 GB/T 19345—2003

非晶纳米晶合金 第2部分： 铁基纳米晶软磁合金带材

Amorphous and nanocrystalline alloy—
Part 2: Fe-based nanocrystalline soft magnetic alloy strips

2017-10-14 发布

2018-07-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会 发布

前 言

GB/T 19345《非晶纳米晶合金》拟分为若干部分：

- 第1部分：铁基非晶软磁合金带材；
- 第2部分：铁基纳米晶软磁合金带材；

.....

本部分为 GB/T 19345 的第2部分。

本部分按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本部分代替 GB/T 19345—2003《非晶纳米晶软磁合金带材》中的铁基纳米晶软磁合金部分。

与 GB/T 19345—2003 标准相比，本部分主要变化如下：

- 标准名称改为《非晶纳米晶合金 第2部分：铁基纳米晶软磁合金带材》；
- 增加了术语部分(见第3章)；
- 增加了带材的分类、产品牌号命名规则(见第4章)；
- 修改了带材的磁性能指标(见 6.1, 2003 版的 4.3)；
- 细化了带材的规格，并分别规定了允许尺寸偏差(见 6.2, 2003 版的第3章)；
- 修改了对取样、试样制备和测试的相关规定(见 7.1、7.2、7.3、7.4, 2003 版的 6.2、6.3 和第5章)；
- 增加了带材叠片系数的要求和检验方法(见 6.3.2、7.3.3.1)；
- 修改了带材韧性的要求和检验方法(见 6.3.3、7.3.3.2, 2003 版的 4.4、6.3.3)；
- 细化了对包装、贮存、质量证明书的要求(见第8章, 2003 版的第7章)。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本部分起草单位：安泰科技股份有限公司、冶金工业信息标准研究院。

本部分主要起草人：卢志超、陈文智、李德仁、栾燕、刘国栋、李准、戴强、颜丞铭。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 19345—2003。

非晶纳米晶合金 第2部分： 铁基纳米晶软磁合金带材

1 范围

GB/T 19345 的本部分规定了用快淬工艺制造的铁基纳米晶软磁合金带材的分类与牌号表示方法、一般要求、技术要求、检查和测试、包装、标志及质量证明书。

本部分适用于制造中高频变压器、共模电感、磁放大器、尖峰抑制器、电流互感器、滤波电感及传感器等所用铁芯，以及磁屏蔽和导磁所用片材的铁基纳米晶软磁合金带材（以下简称带材）。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅注日期的版本适用于本文件。凡是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 2900.1 电工术语 基本术语

GB/T 9637 电工术语 磁性材料与元件

GB/T 13012 软磁材料直流磁性能的测量方法

GB/T 15019 快淬金属分类和牌号

GB/T 19345.1—2017 非晶纳米晶合金 第1部分：铁基非晶软磁合金带材

GB/T 19346.1 非晶纳米晶合金测试方法 第1部分：环形试样交流磁性能

GB/T 19346.2 非晶纳米晶合金测试方法 第2部分：带材叠片系数

3 术语和定义

GB/T 2900.1、GB/T 9637、GB/T 15019、GB/T 19345.1—2017 和 GB/T 19346.1 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。为了便于使用，以下重复列出 GB/T 19345.1—2017 中一些术语和定义。

3.1

比总损耗 **specific total loss**

单位质量的均匀磁化材料所吸收的总功率，单位为瓦特每千克(W/kg)。

[GB/T 19345.1—2017，定义 3.1]

3.2

叠片系数 **lamination factor**

磁性材料所占的横截面积与堆积体总横截面积之比。

[GB/T 19345.1—2017，定义 3.3]

3.3

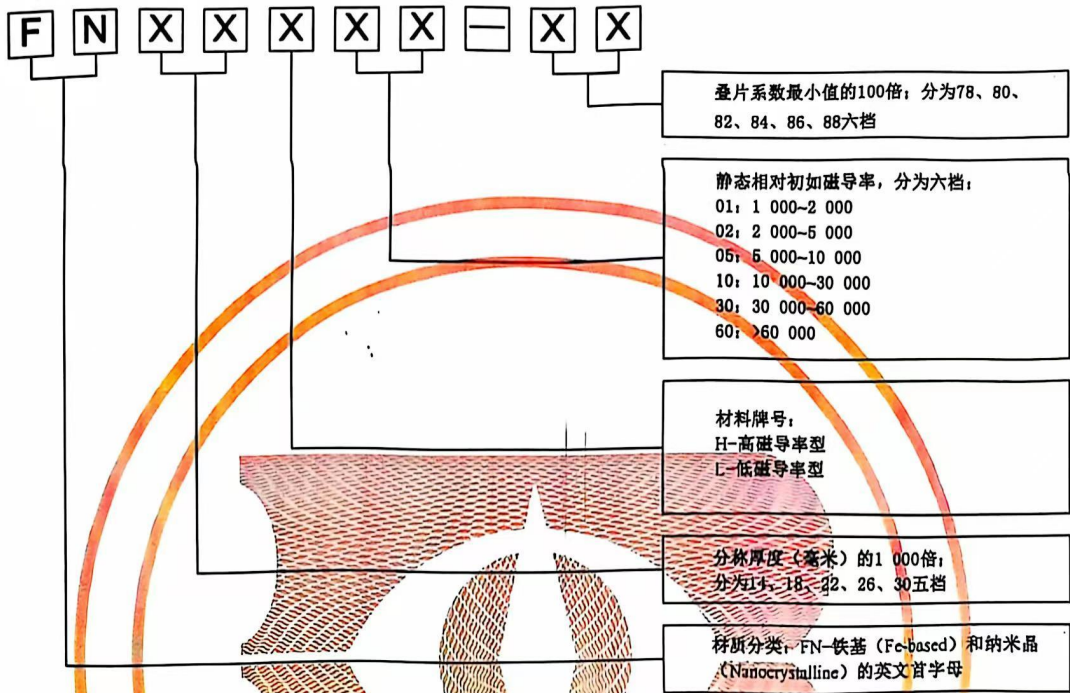
半工艺 **semi-processed**

供货时未进行最终热处理、而由用户进行最终热处理的产品状态。

[GB/T 19345.1—2017，定义 3.4]

4 分类与牌号表示方法

带材的牌号由五个字段及一个连接符组合而成,每个字段的定义如下:



示例:

FN26H60-84 表示公称厚度为 0.026 mm、材质为高磁导率型、静态相对初始磁导率大于 60 000、叠片系数不小于 0.84 的带材。

5 一般要求

5.1 生产工艺

带材的生产工艺和化学成分由供方决定。

5.2 供货形式

- 5.2.1 带材一般以带卷的形式交货。带卷的尺寸及重量可由供需双方协商确定,并在合同中注明。
- 5.2.2 带卷应由同一宽度的带材卷成,中心衬以硬纸质、塑料或金属卷轴。
- 5.2.3 带卷的端面应平整,最大轴向高度应不大于带材公称宽度的 1.05 倍。
- 5.2.4 带卷的端面应无锈蚀、无手印、无异物、无损伤。
- 5.2.5 带卷应卷绕紧密,无局部松弛、无皱褶、无塌陷,在搬运时不会因自重而塌卷,在放卷时不发生横向偏移。
- 5.2.6 带材可能由于去除缺陷而产生接带。接带前后部分应为同一牌号、同一公称宽度。接头处应做出标记,连接应整齐并且不影响后续加工的正常运行。接带处如果采用其他材料连接,连接材料的材质应确保不损害带材在热处理前后的性能。如果带材在最终使用过程中与液体接触,连接材料不应与所接触的液体发生化学反应。

5.2.7 对带材交货形式的特殊要求可由供需双方协商确定。

5.3 交货条件

带材一般以无表面涂层的、非剪切的半工艺状态(制备态)交货。特殊要求可由供需双方协商确定。

5.4 表面质量

- 5.4.1 带材表面不应有锈蚀、油脂、手印、异物以及连续可见的氧化现象。
- 5.4.2 带材表面允许有直径不大于 1.0 mm 的针孔,但每平方厘米不应多于 1 个。
- 5.4.3 带材应平整光滑,不应有劈裂、毛边、凹坑、皱褶、折叠或影响使用的其他缺陷,带材边缘不应有裂口和毛刺。

5.5 剪切适应性

当使用适当的设备剪切时,带材的任意部位都应能够被剪切成通常的形状。

6 技术要求

6.1 物理性能

6.1.1 以半工艺状态(制备态)交货的带材应经过适当的热处理后才能获得所希望的磁性能,而带材的磁性能与取样和制样方法、试样形状和尺寸、试样热处理制度和测试方法等因素有关。因此,供方在提供带材磁性能数据的同时,应说明试样形状与尺寸、试样的热处理制度、测试方法、测试设备和测试条件。

注:带材的最终热处理一般由需方在加工成铁芯后进行。因此,需方在使用带材制造铁芯时,在参考供方提供的磁性能数据和推荐热处理制度的基础上,可根据自身的工艺装备状况,通过试验确定最佳热处理制度,以获得所希望的最佳磁性能。

6.1.2 带材的磁性能应符合表 1、表 2、表 3 和表 4 的规定。热处理工艺由供方提供,并在质量证明书中注明。对带材磁性能的特殊要求可由供需双方协商确定。

表 1 铁基纳米晶软磁合金带材的几何特性和直流磁性能

类别	牌号 ^a	静态相对初始磁导率 $\mu_{0.08}$ ^b	公称厚度 mm	叠片系数 不小于	磁通密度 B_{100} ^b T 不小于	矫顽力 H_c A/m 不大于
H	FN××H30-**	30 000~60 000	0.014 0.018	0.78 0.80	1.10	1.20
	FN××H60-**	>60 000		0.82		
L	FN××L01-**	1 000~2 000	0.022	0.84		2.50
	FN××L02-**	2 000~5 000	0.026	0.86		
	FN××L05-**	5 000~10 000	0.030	0.88		
	FN××L10-**	10 000~30 000				
^a 牌号中的××表示带材公称厚度(0.014 mm、0.018 mm、0.022 mm、0.026 mm 和 0.030 mm 中的任意一个)的 1 000倍;**表示带材叠片系数最小值(0.78、0.80、0.82、0.84、0.86 和 0.88 中的任意一个)的 100 倍。 ^b 相对初始磁导率 μ 和磁通密度 B 的下标表示测试时对试样施加磁场的强度值,其单位为安培每米(A/m)。						

表2 高频变压器用铁基纳米晶软磁合金带材的牌号、规格和交流磁性能

类别	牌号 ^a	公称厚度 mm	叠片系数 不小于	比总损耗 $P_{0.5/20\text{ k}}^b$ W/kg 不大于	相对幅值磁导率 $\mu_{20\text{ k}}^c$	相对幅值磁导率 $\mu_{50\text{ k}}^c$
H	FN18H60-**	0.018	0.78 0.80 0.82 0.84 0.86 0.88	15	>35 000	>30 000
	FN18H30-**				30 000~40 000	25 000~35 000
	FN22H60-**	0.022		20	>35 000	>30 000
	FN22H30-**				30 000~40 000	25 000~35 000
	FN26H60-**	0.026		30	>35 000	>30 000
	FN26H30-**				30 000~40 000	25 000~35 000
	FN30H60-**	0.030		40	>35 000	>30 000
	FN30H30-**				30 000~40 000	25 000~35 000

^a 牌号中的**表示带材叠片系数最小值(0.78、0.80、0.82、0.84、0.86 和 0.88 中的任意一个)的 100 倍。

^b 比总损耗 P , 后面的下标分别表示测试时的磁通密度峰值和频率。
示例: $P_{0.5/20\text{ k}}$ 表示在磁通密度峰值 $B=0.5\text{ T}$ 、频率 $f=20\text{ kHz}$ 条件下的比总损耗。

^c 相对幅值磁导率 μ 的下标表示测试频率。
示例: $\mu_{20\text{ k}}$ 表示在 20 kHz 下的相对幅值磁导率, 相对幅值磁导率 μ 的测试条件为: 磁场强度峰值 0.08 A/m。

表3 共模电感用铁基纳米晶软磁合金带材的牌号、规格和交流磁性能

类别	牌号 ^a	公称厚度 mm	叠片系数 不小于	比总损耗 $P_{0.3/100\text{ k}}$ ^b W/kg 不大于	相对幅值磁导率 $\mu_{10\text{ k}}$ ^c	相对幅值磁导率 $\mu_{100\text{ k}}$ ^c
H	FN14H60-**	0.014	0.78 0.80 0.82 0.84	70	$\geq 55\ 000$	$\geq 25\ 000$
	FN18H60-**	0.018		80	$\geq 55\ 000$	$\geq 22\ 000$
	FN22H60-**	0.022		95	$\geq 60\ 000$	$\geq 20\ 000$
	FN26H60-**	0.026		120	$\geq 60\ 000$	$\geq 18\ 000$
L	FN××L10-**	0.014 0.018 0.022	0.86	120	12 000~30 000	10 000~18 000
	0.88		5 200~9 500		5 000~9 000	
			1 900~4 600		1 800~4 500	
			1 000~1 800		1 000~1 800	

^a 牌号中的××表示带材公称厚度(0.014 mm、0.018 mm 和 0.022 mm 中的任意一个)的 1000 倍;**表示带材叠片系数最小值(0.78、0.80、0.82、0.84、0.86 和 0.88 中的任意一个)的 100 倍。

^b 比总损耗 P , 后面的下标分别表示测试时的磁通密度峰值和频率。

示例: $P_{0.3/100\text{ k}}$ 表示在磁通密度峰值 $B=0.3\text{ T}$ 、频率 $f=100\text{ kHz}$ 条件下的比总损耗。

^c 相对幅值磁导率 μ 的下标表示测试频率。

示例: $\mu_{10\text{ k}}$ 表示在 10 kHz 下的相对幅值磁导率。相对幅值磁导率 μ 的测试条件为:磁场强度峰值 0.08 A/m。

表 4 电流互感器用铁基纳米晶软磁合金带材的牌号、规格和磁性能

类别	牌号 ^a	公称厚度/mm	叠片系数 不小于	相对幅值磁导率 μ_{50}^b	剩余磁通密度 B_r T 不大于
H	FN××H60-***	0.018 0.022	0.78 0.80 0.82	80 000~180 000	—
L	FN××L01-***	0.026 0.030	0.84 0.86 0.88	1 000~2 000	0.05

^a 牌号中的××表示带材公称厚度(0.018 mm、0.022 mm、0.026 mm 和 0.030 mm 中的任意一个)的 1 000 倍;***表示带材叠片系数最小值(0.78、0.80、0.82、0.84、0.86 和 0.88 中的任意一个)的 100 倍。

^b 相对幅值磁导率 μ 的下标表示测试频率。

示例: μ_{50} 表示在 50 Hz 下的相对幅值磁导率;相对幅值磁导率 μ 的测试条件为:磁场强度峰值 0.08 A/m。

6.1.3 带材的其他基本物理参数参见附录 A 中表 A.1。

6.2 几何特性

6.2.1 厚度和允许偏差

6.2.1.1 带材的公称厚度为 0.014 mm、0.018 mm、0.022 mm、0.026 mm 和 0.030 mm。

6.2.1.2 带材的厚度允许偏差应符合表 5 的规定。特殊要求可由供需双方协商确定。

表 5 铁基纳米晶合金带材的厚度允许偏差

单位为毫米

公称厚度范围	公称厚度允许偏差 ^a	横向厚度允许偏差 ^b	纵向厚度允许偏差 ^c
	不大于		
≤50	±0.002	±0.001 5	平均厚度的±5%
>50	±0.002	±0.002 0	

^a 同一批次内公称厚度的允许偏差。

^b 垂直于带材铸造方向上的厚度允许偏差。

^c 平行于带材铸造方向上 2 000 mm 长度内的厚度允许偏差。

6.2.2 宽度和允许偏差

6.2.2.1 带材宽度范围为 0.5 mm~150 mm。具体尺寸应在合同中确定。

6.2.2.2 纵向剪切带材的宽度允许偏差为±0.10 mm。特殊要求可由供需双方协商确定。

6.2.2.3 非剪切带材的宽度允许偏差应符合表 6 的规定。特殊要求可由供需双方协商确定。

表 6 铁基纳米晶合金非剪切带材的宽度允许偏差

单位为毫米

公称宽度范围	宽度允许偏差,不大于
<10	±0.10
10~50	±0.30
>50	±0.50

6.3 技术特性

6.3.1 密度

用于计算带材磁性能和叠片系数的密度由供方提供。

6.3.2 叠片系数

带材的叠片系数应符合表 1、表 2、表 3 和表 4 的要求。

6.3.3 韧性

按本部分的 7.3.3.2 检验后,在试样上所有 19 个对折点中,出现目视可见开裂的对折点的个数不应超过 3 个。

7 检查和测试

7.1 一般要求

7.1.1 带材应按批提交检查和测试。每个铸造炉次为一个验收批。

7.1.2 当带材以分卷的形式供货时,原验收批次上的测试结果适用于该分卷。

7.1.3 根据需方要求,并在合同中注明,供方可通过增加取样和试验频次等方法检查带材质量一致性。

7.2 取样

7.2.1 每批带材应分别在头、尾各取一个试样。当一个铸造炉次连续生产多个带卷时,应在每个带卷的尾部取一个试样。特殊要求可由供需双方协商确定。

7.2.2 试样不应有因机械损伤产生的皱褶、凹坑、破裂等缺陷,试样表面应清洁。

7.2.3 在卷上取样时,为了防止表面污染或机械损伤等因素对测试结果的干扰,取样应从带卷头部和尾部的第二层开始。

7.2.4 通过合理地安排测试次序,同一副试样可以用于测试多种特性。

7.3 试样制备

7.3.1 物理性能

将所取带材按照 GB/T 13012 和 GB/T 19346.1 规定的方法卷绕成环形试样,然后采用供方推荐的制度热处理。试样在热处理过程中,应使用非铁磁性金属或陶瓷衬环支撑试样内窗口,以防止试样发生变形。衬环的外径应与试样内径接近、高度与试样相当。试样的热处理应在保护气氛中进行,以防止表面氧化。

7.3.2 几何特性

用于测量几何特性的试样通常为长度 200 mm 的连续带材。

7.3.3 技术特性

7.3.3.1 叠片系数

用于测量叠片系数的试样通常为长度 10 m 的连续带材。

7.3.3.2 韧性

用于测量韧性的试样通常为长度 2 000 mm 的连续带材。韧性的测试方法如下：将试样沿带材铸造方向每隔 100 mm 以自由面向内的方式对折，使对折线垂直于带材铸造方向，共计 19 点。用一对宽度大于试样宽度的金属平板将对折线压紧，直至金属平板之间的间隙等于试样最大厚度的 2 倍；然后松开金属平板，取出试样，观察对折线上是否有目视可见的开裂。记录 19 个对折线中出现开裂的对折线的个数。

7.4 测量方法

7.4.1 物理性能

7.4.1.1 环形试样测量直流磁性能的测量方法按 GB/T 13012 的规定进行。

7.4.1.2 环形试样测量交流磁性能的测量方法按 GB/T 19346.1 的规定进行。

7.4.2 几何特性

7.4.2.1 厚度的测量应采用最小分度值不大于 0.001 mm 的量具进行。沿垂直于带材铸造方向测量厚度分布时，应等间距测量，测量点不少于 3 个。

7.4.2.2 带材的宽度沿垂直于带材铸造方向，使用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量。

7.4.3 技术特性

7.4.3.1 叠片系数的测量方法按 GB/T 19346.2 的规定进行。

7.4.3.2 韧性的测试方法如下。

将试样沿带材铸造方向每隔 100 mm 以自由面向内的方式对折，使对折线垂直于带材铸造方向，共计 19 点。用一对宽度大于试样宽度的金属平板将对折线压紧，直至金属平板之间的间隙等于试样最大厚度的 2 倍；然后松开金属平板，取出试样，观察对折线上是否有目视可见的开裂。记录 19 个对折线中出现开裂的对折线的个数。

7.5 复检与判定规则

若某一检验项目不合格时，允许取双倍数量的试样进行复检。复检结果如有一项不合格，则该批带材判为不合格。对磁性能复检不合格的带材，允许调整热处理制度重新检验与判定。

8 包装、标志和质量证明书

8.1 包装

带卷应采用防潮包装，保证带材在未开箱条件下 6 个月内不发生因锈蚀导致的质量退化。带卷应装入包装箱中且保证不能窜动。包装箱应便于机械搬运，应保证卷在储存和运输过程中不损坏。

8.2 贮存

包装后的带材应贮存在干燥通风环境中，避免在潮湿或有腐蚀性气体的环境中存放。带卷的卷轴应垂直于水平面放置。

8.3 标志

带卷的卷轴和包装箱上均应标有牢固的、满足可追溯性要求的标识。

8.4 质量证明书

每批交货的带材应附有证明该批带材符合本部分规定及订货合同的质量证明书。质量证明书应包含以下内容：

- a) 供方名称；
- b) 需方名称；
- c) 合同号；
- d) 产品名称与牌号；
- e) 本部分编号；
- f) 尺寸；
- g) 重量；
- h) 生产批号；
- i) 推荐的热处理制度；
- j) 本部分技术要求中所规定的各项指标；
- k) 供方需提供的信息(如密度、晶化温度等)；
- l) 需方要求提供的其他信息；
- m) 供方有关部门的印记；
- n) 发货日期或生产日期。

9 订货内容

按本部分订货的合同或订单应包括以下内容：

- a) 标准编号；
- b) 牌号；
- c) 尺寸；
- d) 重量；
- e) 性能要求；
- f) 由供需双方协商并在合同中注明的项目或指标。

附录 A

(资料性附录)

铁基纳米晶软磁合金带材的部分基本物理参数

铁基纳米晶软磁合金带材的部分基本物理参数见表 A.1。

表 A.1 铁基纳米晶软磁合金带材的部分基本物理参数典型值

材料牌号	类型	居里温度 T_c	晶化温度 T_s	密度 ρ_m g/cm ³	电阻率 ρ $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	饱和磁通密度 B_s T	饱和磁致 伸缩系数 λ_s
		℃					
1K107	H	570	520	7.20	110	1.25	$<2 \times 10^{-6}$
	L	570	515	7.25	110	1.25	$<2 \times 10^{-6}$

注：本表所提供的数据是基于对部分现有产品的测试结果基础上的，它们会随材料化学成分的差异而有所不同。因此，数据仅用于参考。如果需要使用这些数据对产品判定、产品设计或生产工艺调整，应使用供方提供的实际测试值。