

团 体 标 准

T/CSAE xx-20xx

电动汽车电机用
铁基非晶合金带材技术规范

Technical specification for Fe-based amorphous alloy strip used in electric vehicle

motors

(征求意见稿)

在提交反馈意见时, 请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上

20xx-xx-xx 发布

20xx-xx-xx 实施

中国汽车工程学会 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 牌号 | 1 |
| 5 技术要求 | 2 |
| 5.1 一般要求 | 2 |
| 5.2 力学性能 | 4 |
| 5.3 磁性能 | 4 |
| 6 试验方法与测量 | 4 |
| 6.1 总则 | 4 |
| 6.2 取样 | 4 |
| 6.3 测量方法 | 4 |
| 7 交货条件 | 5 |
| 7.1 交货形式 | 6 |
| 7.2 外观 | 6 |
| 7.3 包装 | 6 |
| 7.4 贮存 | 6 |
| 附 录 A (资料性) 电机用非晶带材 150℃下的磁性能 | 7 |
| 附 录 B (资料性) 铁基非晶合金带材的基本物理参数 | 8 |
| 附 录 C (规范性) 电机用非晶带材密度间接测量方法 | 9 |

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。

本文件由电动汽车产业技术创新战略联盟提出。

本文件由中国汽车工程学会标准化工作委员会归口。

本文件起草单位：安泰非晶科技有限责任公司、青岛云路先进材料技术股份有限公司、XXX

本文件主要起草人：XXX

电动汽车电机用铁基非晶合金带材技术规范

范围

本文件规定了用快速凝固工艺制造的铁基非晶合金带材的牌号、技术要求、试验方法与测量、交货条件。

本文件适用于制作驱动电机、压缩机电机等铁心用铁基非晶合金带材（以下简称“电机用非晶带材”）。

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 228.1-2021 | 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法 |
| GB/T 2900.60 | 电工术语 电磁学 |
| GB/T 3655 | 用爱泼斯坦方圈测量电工钢带（片）磁性能的方法 |
| GB/T 3850 | 致密烧结金属材料与硬质合金 密度测定方法 |
| GB/T 4340.1 | 金属材料 维氏硬度试验 第1部分：试验方法 |
| GB/T 9637 | 电工术语 磁性材料与元件 |
| GB/T 10129 | 电工钢带（片）中频磁性能测量方法 |
| 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 19346.2 | 非晶纳米晶合金测试方法 第2部分：带材叠片系数 |
| GB/T 34215-2023 | 电动汽车驱动电机用冷轧无取向电工钢带（片） |

3 术语和定义

GB/T 2900.60、GB/T 9637、GB/T 15019和GB/T 19345.1中界定的及下列术语和定义适用于本文件。

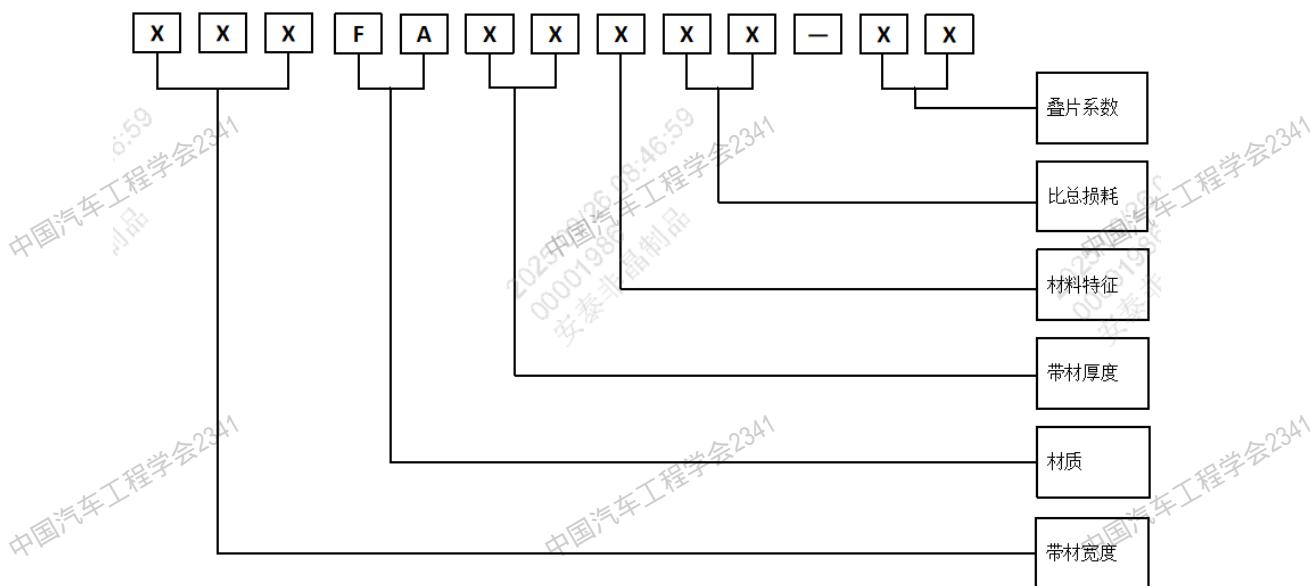
3.1

铁基非晶合金带材 Fe-based amorphous alloy strip

一种以铁为主要成分，通过快速凝固工艺制成的内部原子排列呈无序非晶态、并且形状为超薄带状的金属软磁材料。材料可为单层，也可为未经二次粘结加工的多层状态。

4 牌号

电机用非晶带材的牌号采用化学元素符号、英文字母、阿拉伯数字与连接符连接的方法表示，由带材宽度、材质、带材厚度、材料特征、比总损耗及叠片系数6部分组成。



——带材宽度（单位为 mm），常规宽度有 142、170、213、240 等。

——材质，FA，铁的元素符号（Fe）首字母和非晶态（Amorphous）的英文首字母。

——带材厚度（单位为 mm）的 1000 倍，分为 23、25、27、29 四档。

——材料特征（饱和磁感应强度），分为 A（1.63T）、B（1.67T）、C（1.70T）、D（1.75T）四档。

——比总损耗最大值（测试条件为 1.0T/400Hz，单位为 W/kg）的 10 倍，分为 20、24 和 28 三档。

——叠片系数最小值的 100 倍，分为 86、88、90 和 92 四档。

示例：

213FA25A20-88 表示带材宽度 213mm、带材厚度 0.025mm、材质为 A 型（ B_s 为 1.63T）、比总损耗（磁极化强度 1.0 T / 频率 400 Hz）不大于 2.0 W/kg、叠片系数不小于 0.88 的铁基非晶合金带材。

5 技术要求

5.1 一般要求

5.1.1 表面质量

5.1.1.1 电机用非晶带材不应有锈蚀、油脂、手印、异物以及氧化现象。

5.1.1.2 电机用非晶带材表面可有长度不大于 0.5 mm 的针孔、孔洞，但每平方厘米不应多于 1 个。

5.1.1.3 电机用非晶带材应平整光滑，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。

5.1.2 厚度及偏差

5.1.2.1 电机用非晶带材的公称厚度为 0.023mm、0.025mm、0.027mm、0.029mm 四种规格。

5.1.2.2 按照 6.3.1 的规定完成试验后, 电机用非晶带材的公称厚度允许偏差、纵向厚度偏差、横向厚度偏差应符合表 1 的规定。

表 1 电机用非晶带材厚度偏差

单位为 mm

| 公称厚度允许偏差 ^a | 纵向厚度偏差 ^b | 横向厚度偏差 ^c |
|-----------------------|---------------------|---------------------|
| ≤ | | |
| ±0.0010 | ±0.0015 | ±0.0015 |

^a指同一批次内公称厚度的允许偏差。

^b指平行于带材铸造方向上 2000mm 长度内的厚度允许偏差。

^c指垂直于带材铸造方向上的厚度允许偏差。

5.1.3 宽度及偏差

5.1.3.1 电机用非晶带材的宽度可在供方指定的宽度范围内选择, 非晶带材的宽度一般不小于 120mm。

5.1.3.2 按照 6.3.2 的规定完成试验后, 电机用非晶带材宽度允许偏差为±0.5mm。

5.1.4 叠片系数

按照 6.3.4 的规定完成试验后, 电机用非晶带材的最小叠片系数应符合表 2 的规定。

表 2 室温 (25±5°C) 下技术特性

| 类型 | 牌号 | 比总损耗 $P_{1.0/400}^a$ W/kg | 比总损耗 $P_{1.0/1k}^b$ W/kg | 最小磁极化 强度 J_{3000}^c T | 叠片系 数 | 抗拉强 度 R_m^d MPa | 维氏硬 度 Hv | 韧性 值 |
|-----|-----------------|---------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|----------|-------------------------|-------------|---------|
| | | ≤ | ≥ | ≥ | | | | |
| A 型 | ***FA***A20- ** | 2.0 | 8.0 | 1.53 | 86 | 1500 | 850 | 1.7 |
| | ***FA***A24- ** | 2.4 | 9.0 | | 88 | | | |
| | ***FA***A28- ** | 2.8 | 10.0 | | 90 | | | |
| B 型 | ***FA***B20- ** | 2.0 | 7.8 | 1.55 | 86 | 1400 | 820 | 1.6 |
| | ***FA***B24- ** | 2.4 | 8.8 | | 88 | | | |
| | ***FA***B28- ** | 2.8 | 9.8 | | 90 | | | |
| C 型 | ***FA***C20- ** | 2.0 | 7.6 | 1.57 | 88 | 1300 | 800 | 1.5 |
| | ***FA***C24- ** | 2.4 | 8.6 | | 90 | | | |
| | ***FA***C28- ** | 2.8 | 9.6 | | 92 | | | |
| D 型 | ***FA***D20- ** | 2.0 | 7.6 | 1.60 | 88 | 1200 | 790 | 1.3 |
| | ***FA***D24- ** | 2.4 | 8.6 | | 90 | | | |
| | ***FA***D28- ** | 2.8 | 9.6 | | 92 | | | |

注: ^a 磁极化强度在 1.0T 和频率在 400Hz 下测得的比总损耗。

^b 磁极化强度在 1.0T 和频率在 1kHz 下测得的比总损耗。

^c 磁场强度为 3000A/m 下的磁极化强度。

^d 抗拉强度。

5.2 力学性能

按照 6.3.5~6.3.7 的规定完成试验后, 电机用非晶带材在室温 (25±5°C) 下的力学性能 (抗拉强度、维氏硬度、韧性值) 应符合表 2 的规定。如需方对室温下力学性能有特殊要求, 应在订货时协商, 并在合同中注明。

5.3 磁性能

5.3.1 按照 6.3.8 的规定完成试验后, 电机用非晶带材在室温 (25±5°C) 下的磁性能 (比总损耗、磁极化强度) 应符合表 1 的规定。

5.3.2 电机用非晶带材 150°C 下的磁性能 (比总损耗、磁极化强度) 见附录 A, 但不作为交货依据。

5.3.3 电机用非晶带材的其它参数见附录 B, 但不作为交货依据。

6 试验方法

6.1 总则

6.1.1 电机用非晶带材应按批交检查和测量。每个铸造炉次为一个验收批。

6.1.2 当电机用非晶带材以分卷的形式供货时, 原验收批的测量结果适用于该分卷。

6.1.3 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。

6.2 取样

6.2.1 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。

6.2.2 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。

6.2.3 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。

6.3 测量方法

6.3.1 厚度

6.3.1.1 用于测量电机用非晶带材厚度的试样通常为长度 1 m 的非晶带材。

6.3.1.2 按 GB/T 19345.1 2017 附录 C 中的 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厚度。

6.3.2 宽度

6.3.2.1 用于测量电机用非晶带材宽度的试样通常为长度 200mm 的非晶带材。

6.3.2.2 电机用非晶带材的宽度应在垂直非晶带材的铸造方向、使用最小分度值不大于 0.02 mm 的量具测量。

6.3.3 密度

采用研磨或其他适用的物理或化学方法将非晶带材试样的氧化层或表面油污等去除干净,然后再按照 GB/T 3850 规定进行测量,宜使用无水乙醇或氮气作为浸没介质。带材密度间接测量方法见附录 C。

6.3.4 叠片系数

6.3.4.1 用于测量电机用非晶带材叠片系数的试样通常为长度 10 m 的非晶带材。

6.3.4.2 按照 GB/T 19346.2 规定,采用平面压强法测量,推荐施加压强为 50kPa。

6.3.5 抗拉强度

6.3.5.1 用于测试电机用非晶带材抗拉强度的试样,推荐使用 GB/T 228.1-2021 表 E.2 中宽度 20mm 的试样,应将试样按照平行于铸造方向剪切,样片尺寸应满足宽度 $20\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、长度 $200\text{mm} \sim 220\text{mm}$ (公差 $\pm 0.5\text{mm}$)。

6.3.5.2 按照 GB/T 228.1 规定进行测量,推荐采用基于应力速度的试验方法,为了改善测量结果的再现性,推荐采用横梁位移控制方法。

6.3.6 维氏硬度

6.3.6.1 用于测试电机用非晶带材维氏硬度的试样应满足 GB/T 4340.1 的规定。

6.3.6.2 按照 GB/T 4340.1 规定进行测量,推荐的试验力为 0.4903N (50gf)。

6.3.7 韧性

6.3.7.1 用于测试电机用非晶带材韧性值的试样长度为 1 m 的带材,宽度为供货非晶带材宽度。

6.3.7.2 按 GB/T 19345.1-2017 中附录 D 规定进行测量。

6.3.8 磁性能

6.3.8.1 将试样按照平行于铸造方向进行剪切,样片尺寸应满足宽度 $30\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ 、长度 $280\text{mm} \sim 320\text{mm}$ (公差 $\pm 0.5\text{mm}$),组成试样的样片数应为 4 的整数倍,片数宜为 160 片。可根据客户需求进行样品热处理,如果有要求,应根据相关的产品标准进行热处理。

6.3.8.2 电机用非晶带材室温磁极化强度及不超过 400Hz 比总损耗应按照 GB/T 3655 规定进行测试,400Hz 以上的比总损耗应按照 GB/T 10129 规定进行测试。

6.3.8.3 非晶带材高温(通常为 150°C)磁极化强度及比总损耗应按照 GB/T 34215-2023 附录 D 规定进行测试。

7 交货条件

7.1 交货形式

7.1.1 电机用非晶带材一般以非剪切的半工艺状态(制备态)交货。

7.1.2 电机用非晶带材一般以带卷的形式交货,带卷的形式为一层或多层非晶带材卷绕而成的带卷。

7.1.3 带卷应由同一宽度的非晶带材卷成,中心衬以硬纸质、塑料或金属卷轴。

7.1.4 带卷的内径范围为 220mm~240mm。

7.1.5 特殊要求可由供需双方协商确定。

7.2 外观

7.2.1 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。

7.2.2 带卷的端面应无锈蚀、无异物、无损伤等。

7.2.3 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移动。

7.3 包装

7.3.1 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。

7.3.2 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。

7.4 贮存

包装后的带卷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。

附录 A

(资料性)

电机用非晶带材 150℃下的磁性能

电机用非晶带材 150℃下的磁性能（比总损耗、磁极化强度）见表 A.1。

表 A.1 电机用非晶带材 150℃下的磁性能（比总损耗、磁极化强度）

| 类型 | 牌号 | 比总损耗 $P_{1.0/400}$ | 比总损耗 $P_{1.0/1k}$ | 磁极化强度 J_{3000} |
|-----|-----------------|--------------------|-------------------|------------------|
| | | W/kg | W/kg | T |
| | | ≤ | ≥ | |
| A 型 | ***FA***A20- ** | 1.9 | 7.8 | 1.51 |
| | ***FA***A24- ** | 2.3 | 8.8 | |
| | ***FA***A28- ** | 2.7 | 9.8 | |
| B 型 | ***FA***B20- ** | 1.9 | 7.6 | 1.53 |
| | ***FA***B24- ** | 2.3 | 8.6 | |
| | ***FA***B28- ** | 2.7 | 9.6 | |
| C 型 | ***FA***C20- ** | 1.9 | 7.4 | 1.55 |
| | ***FA***C24- ** | 2.3 | 8.4 | |
| | ***FA***C28- ** | 2.7 | 9.4 | |
| D 型 | ***FA***C20- ** | 1.9 | 7.4 | 1.58 |
| | ***FA***C24- ** | 2.3 | 8.4 | |
| | ***FA***C28- ** | 2.7 | 9.4 | |

附录 B

(资料性)

铁基非晶合金带材的基本物理参数

铁基非晶合金带材的基本物理参数的典型值见表 B.1。

表 B.1 铁基非晶合金带材的基本物理参数的典型值

| 类型 | 居里温度 T_c °C | 晶化温度 T_x °C | 密度 ρ_m g·cm ⁻³ | 电阻率 ρ μΩ·cm | 饱和磁感应强度 B_s T |
|-----|------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------|--------------------|
| A 型 | 405 | 485 | 7.25 | 1.20 | 1.63 |
| B 型 | 395 | 465 | 7.30 | 1.15 | 1.67 |
| C 型 | 385 | 445 | 7.35 | 1.10 | 1.70 |
| D 型 | 365 | 425 | 7.40 | 1.05 | 1.75 |

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进行产品判定、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 C

(规范性)

电机用非晶带材密度间接测量方法

电机用非晶带材密度间接测量方法是测量制备非晶带材用的母合金密度,然后再乘以公认系数作为非晶带材的密度,公认系数推荐 0.98。母合金的密度测量方法按照 GB/T 3850 规定执行。