



中华人民共和国国家标准

GB/T 39494—2020

新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料 表面涂镀层结合力的测定

Determination for coating adhesion of rare earth permanent magnetic materials
for drive motor of new energy vehicle

2020-11-19 发布

2021-10-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由全国稀土标准化技术委员会(SAC/TC 229)提出并归口。

本标准起草单位:中国科学院宁波材料技术与工程研究所、杭州永磁集团有限公司、宁波韵升股份有限公司、北京中科三环高技术股份有限公司、京磁材料科技股份有限公司、国合通用测试评价认证股份公司、国标(北京)检验认证有限公司、包头稀土研究院、安徽大地熊新材料股份有限公司、赣州富尔特电子股份有限公司、包头希迪瑞科技有限公司、福建省长汀金龙稀土有限公司。

本标准主要起草人:宋振纶、姜建军、杨丽景、曾许多、胡依群、曹朔豪、史荣莹、卢硕、樊志罡、付建龙、冯泉好、庞再升、朱明刚、傅东辉、金国顺、沈国迪、贺琦军、鲍成。



新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料 表面涂镀层结合力的测定

1 范围

本标准规定了新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料表面涂镀层结合力的测定方法。共包含四种方法,拉开法、剪切法、划格法、热震法,均为破坏性试验方法。

本标准适用于新能源汽车驱动电机用稀土永磁材料表面的单层或多层涂镀层结合力的测定,涂镀层包括采用电镀、电泳、喷涂、物理气相沉积、化学镀等技术的涂镀层(带有涂镀层的稀土永磁材料以下简称涂镀层产品)。

注:拉开法和剪切法适用于拥有平整表面的涂镀层产品的测定,划格法和热震法适用于任意尺寸的涂镀层产品的测定。

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 3138 金属及其他无机覆盖层 表面处理 术语

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 12609 电沉积金属覆盖层和相关精饰 计数检验抽样程序

JJG 475—2008 电子式万能试验机检定规程

3 术语和定义

GB/T 3138 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

基体 substrate

需要进行表面处理的稀土永磁材料工件。

3.2

结合力 adhesion

使单位面积的涂镀层的不同膜层分离所需的力,或使单位面积的涂镀层与基体分离所需的力。

4 拉开法

4.1 方法原理

将试柱用胶黏剂固定在涂镀层上,利用拉力试验机在涂镀层的法线方向上连续地施加载荷,当该载荷大于涂镀层的结合力时,涂镀层即从基体上分离或涂镀层的不同膜层分离。用破坏涂镀层/基体界面间附着所施加的拉力与粘接面积的比值或破坏涂镀层/基体界面间附着所施加的拉力来表示涂镀层的结合力。



4.2 试验设备与材料

4.2.1 高低温冲击试验箱

用于涂镀层产品的高低温交变处理。可使用两个独立的温度试验箱或一个快速温度变化的试验箱。可采用人工或自动转换方法,试验箱应在 3 min 内完成高低温转换。

4.2.2 拉力试验机

拉力试验机的测力系统及同轴度应按照 JJG 475—2008 进行校准,其精确度应为 1 级或优于 1 级。拉力试验机横梁应能保持空载速度在 0.5 mm/min 以内恒速运行,加卸力应平稳、无振动、无冲击。

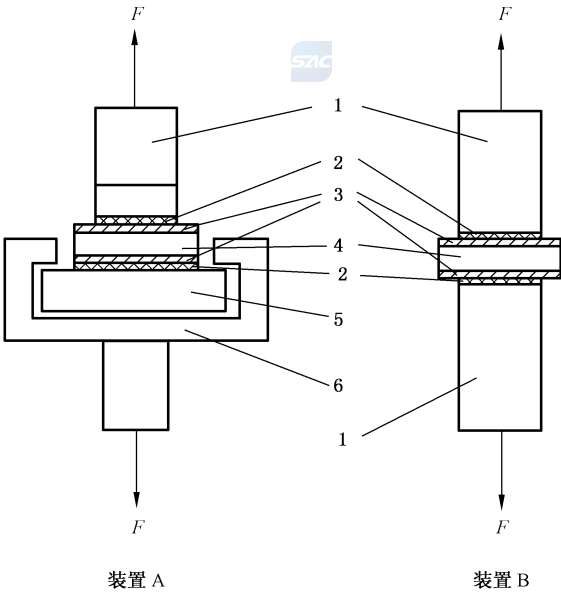
4.2.3 试验组合

4.2.3.1 试验装置

拉开法试验装置如图 1 所示。

装置 A 适用于上下表面平行的涂镀层产品。对厚度小于 5 mm 的涂镀层产品,为避免拉伸过程中因涂镀层产品强度不够而导致断裂,宜在涂镀层产品的另一面粘接一块钢片,使下夹具的力作用在钢片上。对于厚度不小于 5 mm 的涂镀层产品,可不粘接钢片。

装置 B 适用于被测面为平面及瓦形的涂镀层产品,采用该装置应确保上下试柱同轴。



- 说明:
- 1 —— 试柱;
 - 2 —— 胶黏剂;
 - 3 —— 基体表面涂镀层;
 - 4 —— 基体;
 - 5 —— 钢片;
 - 6 —— 下夹具;
 - F —— 拉力。

图 1 拉开法试验装置示意图

4.2.3.2 试柱

试柱由不锈钢圆柱组成。试柱一端连接拉力试验机,另一端利用胶黏剂与涂镀层粘结,试柱粘接面应与试柱的轴线相垂直($90^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$),且边缘保持直角不得倒角。表面需进行磨光处理,磨光面粗糙度 Ra 值在 $0.4\ \mu\text{m}\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 范围内,可根据胶黏剂性能做适当调整。试柱粘接面的直径为 $10\ \text{mm}\sim 20\ \text{mm}$,试柱的长度不低于其直径。

如涂镀层产品为瓦形等非平面规格产品,应根据涂镀层产品的尺寸将试柱粘接面加工出对应弧度,以确保试柱的粘接面能与涂镀层粘接面贴合紧密。

4.2.3.3 钢片

钢片的厚度为 $5\ \text{mm}$,确保在测试过程中不发生形变。钢片粘接面的面积应大于涂镀层产品测试面的面积。上下表面应平整,粗糙度 Ra 值在 $0.4\ \mu\text{m}\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 范围内。

4.2.4 胶黏剂

4.2.4.1 胶黏剂的粘接强度应大于被测涂镀层与基体的结合力,且不能与涂镀层发生反应,可采用聚氨酯甲基丙烯酸酯类或环氧树脂类的胶黏剂。若不同胶黏剂的测量结果有差异,应采信数值较低的测量结果。为减少胶黏剂本身对测量结果的影响,应尽量采用同一种胶黏剂。

4.2.4.2 胶黏剂的使用和固化应按其制造厂商的技术要求进行。由于加热可能会改变涂镀层的结合力,固化温度不宜高于 $100\ ^{\circ}\text{C}$,加热时间不宜超过 $30\ \text{min}$ 。

4.3 取样

按 GB/T 12609 规定的抽样方案抽样,每一批次产品随机抽取 5 件及以上。

4.4 试样

涂镀层产品测试面应规整,不应有挠曲、歪斜等变形,且面积应大于选取的试柱面积。因稀土永磁材料的特殊性,试样不得由标准样板或其他规格的产品代替。

4.5 试验环境温度

试验应在温度 $10\ ^{\circ}\text{C}\sim 30\ ^{\circ}\text{C}$,相对湿度 $30\%\sim 70\%$ 范围的环境内进行。

4.6 试验步骤

4.6.1 试样前处理

参照 GB/T 2423.22 中试验 Na: 规定转换时间的快速温度变化部分对涂镀层产品进行高低温交变处理。将涂镀层产品暴露于 $(-40\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 低温下,保持 $30\ \text{min}$ 后将涂镀层产品转换到 $(120\pm 5)^{\circ}\text{C}$ 高温下,继续保持 $30\ \text{min}$,转换时间不宜超过 $3\ \text{min}$ 。经多次循环后肉眼观察涂镀层有无鼓泡、剥离。除非相关规范另有规定,优先采用的试验循环数为 5。

4.6.2 试验样品制备

用无水乙醇将涂镀层产品、试柱或钢片表面的油污擦拭干净。将胶黏剂尽可能均匀地、薄薄地涂覆在涂镀层产品表面、试柱或钢片上,要求能在涂镀层产品和试柱及钢片之间产生牢固、连续的胶结面。在胶黏剂的固化期内把涂有胶黏剂的涂镀层面近中心处与试柱或钢片相连,并及时清理粘接过程中压出来的溢胶。胶黏剂完全固化后,若试柱周围还残留胶黏剂,应用刀片去除。

注:过多的胶黏剂或胶黏剂未涂均匀,容易导致施加的载荷不能垂直于涂镀层表面,影响试验结果的准确性。

4.6.3 测试

将试验装置固定在拉力试验机的上下夹具中,施加拉力使之均匀地作用于测试面上,胶结面和试柱之间不应有任何扭转、滑移。在涂镀层产品测试面法线方向上施加拉力,拉力试验机的横梁移动速度应控制在 0.1 mm/min~0.5 mm/min 范围内的某个恒定值,直至涂镀层产品与试柱之间分离。记录涂镀层产品与试柱分离的最大拉力 F 。

4.7 试验结果

4.7.1 稀土永磁材料涂镀层的结合力 σ 以 MPa 计,用式(1)来计算:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中:

F ——涂镀层产品与试柱分离的最大力值,单位为牛顿(N);

A ——涂镀层产品与试柱的粘接面积,单位为平方毫米(mm²)。

4.7.2 如稀土永磁材料为瓦形等非平面规格,用最大力值 F 来代替结合力 σ 指标($\sigma = F$),同时标注试柱粘接面的弧长、曲率半径等尺寸信息。

4.7.3 结合力计算结果按 GB/T 8170 进行修约,精确到一位小数,同批次样品的试验结果以结合力的算术平均值、最高值、最低值来表示。

4.7.4 通过目视破坏表面来确定破坏性质,按表 1 所示标记和破坏类型确定破坏性质。对附着破坏,估算破坏面积的百分数,精确至 10%。

表 1 破坏性质

标记	破坏类型
A	附着破坏:涂镀层与基体或涂镀层界面间破坏
B	粘胶失败:胶黏剂与被测涂镀层完全脱开,且涂镀层与基体或涂镀层界面间未破坏
C	基体破坏:粘接强度大于基体自身强度

5 剪切法

5.1 方法原理

将试柱用胶黏剂固定在涂镀层上,利用压力试验机在平行于涂镀层的方向上连续地施加载荷,当该载荷大于其结合力时,涂镀层即从基体上分离或涂镀层的不同膜层分离。用破坏涂镀层/基体界面间的压缩力与粘接面积的比值或破坏涂镀层/基体界面间的压缩力来表示涂镀层的结合力。

5.2 试验设备与材料

5.2.1 高低温冲击试验箱

高低温冲击试验箱的要求同 4.2.1。

5.2.2 压力试验机

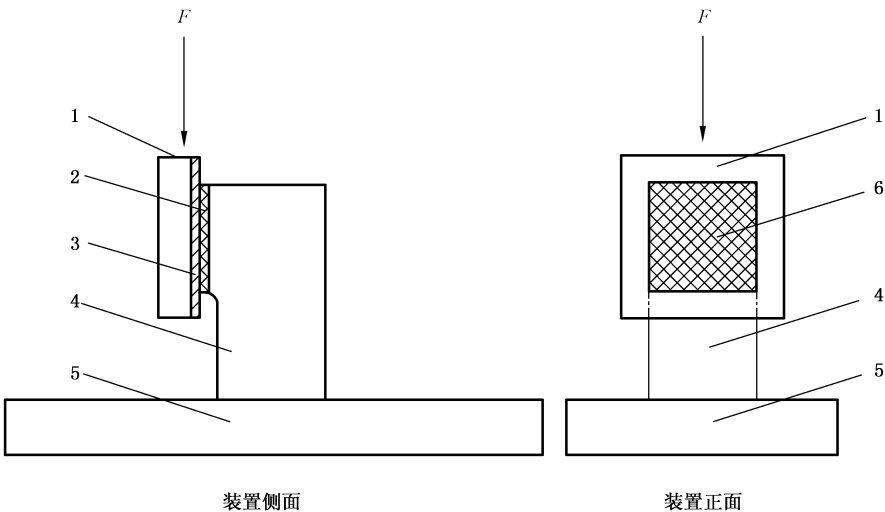
压力试验机的要求同 4.2.2。因压力试验机压头施力于涂镀层产品的厚度方向,为避免涂镀层产品在试验过程中因局部压力过大而碎裂,压力试验机压头部分的面积应大于与其接触的涂镀层产品部分

的面积。

5.2.3 试验组合

5.2.3.1 试验装置

剪切法试验装置如图 2 所示。



说明：

- 1 —— 基体；
- 2 —— 胶黏剂；
- 3 —— 基体表面涂镀层；
- 4 —— 试柱；
- 5 —— 夹具底座；
- 6 —— 粘接区域；
- F —— 压缩力。

图 2 剪切法试验装置示意图

5.2.3.2 试柱

试柱由不锈钢组成。试柱的粘接面应与底座部分保持垂直($90^{\circ}\pm 0.5^{\circ}$)，且边缘保持直角不得倒角，粘接面需进行磨光处理，磨光面粗糙度 Ra 值在 $0.4\ \mu\text{m}\sim 12.5\ \mu\text{m}$ 范围内，可根据胶黏剂性能做适当调整。试柱粘接面的尺寸为 $10\ \text{mm}\times 10\ \text{mm}$ 。

5.2.4 胶黏剂

胶黏剂的要求同 4.2.4。

5.2.5 安全防护罩

用于防止试样断裂碎片飞出伤害试验人员。

5.3 取样

按 GB/T 12609 规定的抽样方案抽样，每一批次产品随机抽取 5 件及以上。

5.4 试样

涂镀层产品测试面为平面,不应有挠曲、歪斜等变形,且面积应大于选取的试柱面积。因稀土永磁材料的特殊性,待测试样不得由标准样板或其他规格的产品代替。

5.5 试验环境条件

试验应在温度 10℃~30℃、相对湿度 30%~70%范围的环境内进行。

5.6 试验步骤

5.6.1 试样前处理

试样前处理方法按 4.6.1 进行。

5.6.2 试验样品制备

用无水乙醇将涂镀层产品及试验装置粘接面上的油污擦拭干净。其余同 4.6.2。

5.6.3 测试

将试验装置固定在压力试验机中,采用合适的安全防护罩进行防护。在与涂镀层产品被测平面平行的方向上施加压缩力,压力试验机的横梁移动速度应控制在 0.1 mm/min~0.5 mm/min 范围内某个恒定值,直至涂镀层产品与试柱之间分离。记录涂镀层产品与试柱分离的最大压缩力 F 。

5.7 试验结果

5.7.1 稀土永磁材料涂镀层的结合力 τ 以 MPa 计,用式(2)来计算:

$$\tau = \frac{F}{A} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

F ——涂镀层产品与试柱分离的最大力值,单位为牛顿(N);

A ——涂镀层产品与试柱的粘接面积,单位为平方毫米(mm²)。

5.7.2 如稀土永磁材料为瓦形等非平面规格,用最大力值 F 来代替结合力 τ 指标($\tau = F$),同时标注试柱粘接面的弧长、曲率半径等尺寸信息。

5.7.3 结合力计算结果按 GB/T 8170 进行修约,精确到一位小数,同批次样品的试验结果以结合力的算术平均值、最高值、最低值来表示。

5.7.4 通过目视破坏表面来确定破坏性质,按表 1 所示标记和破坏类型确定破坏性质。对附着破坏,估算破坏面积的百分数,精确至 10%。

6 划格法

参照 GB/T 9286 规定执行,具体方法为用 30°锐角刀在涂层表面刻痕成 6×6 条间距 1 mm 的正交切割线,然后用透明压敏胶带(宽 25 mm、粘着力 10 N/25 mm,或供需双方商定)粘合到试验表面上,用手指压紧按平,排除空气约 10 s 后,在样品表面的垂直方向上迅速拉起胶带,在放大 4 倍或 8 倍的放大镜下,检查镀层有无起泡、脱离现象。

7 热震法

参照 GB/T 5270 规定的热震试验法执行,具体方法为将涂镀层产品加温至表 2 所示的温度,此温度应保持在 $\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 误差范围内,保温 1 h 后,放入不高于 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的水中骤冷,观察涂镀层有无起泡、脱离现象。

表 2 热震试验温度

涂镀层类别	镍、铜、金、银	锡、锌	铝、环氧涂层、锌铝涂层
试验温度	$250\text{ }^{\circ}\text{C}$	$150\text{ }^{\circ}\text{C}$	$200\text{ }^{\circ}\text{C}$

8 试验报告



试验报告至少应包括以下信息:

- a) 测试方法;
- b) 试样尺寸和数量,以及批次和牌号等信息;
- c) 涂镀层的类别;
- d) 试验条件(所选用的胶黏剂型号及固化的温度和时间或划格方法中选用的胶带类型;环境温度、粘接试柱的尺寸和面积、试验机横梁移动速度);
- e) 设备规格型号;
- f) 试验结果;
- g) 其他必要的说明;
- h) 本标准编号。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2423.22 环境试验 第2部分:试验方法 试验N:温度变化
 - [2] GB/T 5270 金属基体上的金属覆盖层 电沉积和化学沉积层 附着强度试验方法评述
 - [3] GB/T 9286 色漆和清漆 漆膜的划格试验
-