

中华人民共和国国家标准

GB/T 12967.1—2020

代替 GB/T 12967.1—2008, GB/T 12967.2—2008, GB/T 12967.7—2010

铝及铝合金阳极氧化膜及有机聚合物膜 检测方法 第1部分:耐磨性的测定

Test methods for anodic oxidation coatings and organic polymer coatings of
aluminium and aluminium alloys—
Part 1: Measurement of abrasion resistance

2020-06-02 发布

2021-04-01 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

GB/T 12967《铝及铝合金阳极氧化膜及有机聚合物膜检测方法》分为五个部分：

- 第 1 部分：耐磨性的测定；
- 第 3 部分：氧化膜的铜加速乙酸盐雾试验(CASS 试验)；
- 第 4 部分：着色阳极氧化膜耐紫外光性能的测定；
- 第 5 部分：用变形法评定阳极氧化膜的抗破裂性；
- 第 6 部分：目视观察法检验着色阳极氧化膜色差和外观质量。

本部分为 GB/T 12967 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 12967.1—2008《铝及铝合金阳极氧化膜检测方法 第 1 部分：用喷磨试验仪测定阳极氧化膜的平均耐磨性》、GB/T 12967.2—2008《铝及铝合金阳极氧化膜检测方法 第 2 部分：用轮式磨损试验仪测定阳极氧化膜的耐磨性和磨损系数》及 GB/T 12967.7—2010《铝及铝合金阳极氧化膜检测方法 第 7 部分：用落砂试验仪测定阳极氧化膜的耐磨性》。本部分以 GB/T 12967.1—2008 为主，整合了 GB/T 12967.2—2008 和 GB/T 12967.7—2010 的部分内容，与 GB/T 12967.1—2008 相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

- 修改了喷磨法标准试样的要求(见 4.5.1, 2008 年版的 6.1)；
- 修改了喷磨法结果计算的要求(见 4.7, 2008 年版的第 7 章)；
- 增加了电阻法判断试验终点的要求(见 4.6.3, 5.6.3)；
- 增加了喷磨法中仪器设备的要求(见 4.2.2, 4.2.3, 4.2.4, 4.2.5)；
- 增加了落砂法(见第 5 章)；
- 增加了纸带轮磨法(见第 6 章)；
- 增加了橡胶轮磨法(见第 7 章)；
- 增加了橡皮磨擦法(见第 8 章)；
- 增加了摩擦系数测定法(见第 9 章)。

本部分由中国有色金属工业协会提出。

本部分由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本部分起草单位：国家有色金属质量监督检验中心、广东兴发铝业有限公司、广东凤铝铝业有限公司、福建省闽发铝业股份有限公司、广东坚美铝型材厂(集团)有限公司、芜湖精塑实业有限公司、广东省工业分析检测中心、山东华建铝业有限公司、广亚铝业有限公司、福建省南平铝业股份有限公司、江阴东华铝材科技有限公司、四川三星新材料科技股份有限公司、山东南山铝业股份有限公司、广东豪美新材股份有限公司、苏州罗普斯金铝业股份有限公司、广东广铝铝型材有限公司、广东华昌铝厂有限公司、栋梁铝业有限公司、广东华江粉末科技有限公司、佛山市涂亿装饰材料科技有限公司、天津新艾隆科技有限公司、江阴恒兴涂料有限公司、昆明冶金研究院、广东伟业铝厂集团有限公司。

本部分主要起草人：樊志罡、陈文泗、蒋春丽、朱耀辉、徐世光、薛浩栋、李扬、张洪亮、郝雪龙、潘学著、刘泉泉、曹建阳、牟泳涛、臧伟、罗春华、颜廷柱、刘畅、唐性宇、周国旗、蔡劲树、吴延军、史宏伟、林乾隆、岳有成、梁美婵。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 12967.1—1991、GB/T 12967.1—2008；
- GB/T 12967.2—1991、GB/T 12967.2—2008；
- GB/T 12967.7—2010。

铝及铝合金阳极氧化膜及有机聚合物膜 检测方法 第1部分：耐磨性的测定

1 范围

GB/T 12967的本部分规定了喷磨法、落砂法、纸带轮磨法、橡胶轮磨法、橡皮磨擦法和摩擦系数测定法。

喷磨法适用于膜厚不小于 $5\mu\text{m}$ 的阳极氧化膜和有机聚合物膜的耐磨性测定,适用于较小试样和表面凹凸不平的试样。

落砂法适用于阳极氧化膜及有机聚合物膜的耐磨性测定,适用于较小的试样和表面凹凸不平的试样。

纸带轮磨法适用于厚度不小于 $5\mu\text{m}$ 的阳极氧化膜及有机聚合物膜的耐磨性测定,可测定膜层的整体耐磨性和沿膜层厚度的耐磨性变化,不适用于表面凹凸不平的试样。

橡胶轮磨法适用于阳极氧化膜及有机聚合物膜的耐磨性测定,可用于测定膜层的整体耐磨性,不适用于表面凹凸不平的试样。

橡皮磨擦法适用于厚度小于 $5\mu\text{m}$ 的阳极氧化膜及阳极氧化复合膜的耐磨性测定,功能膜和纹理膜可参照使用。

摩擦系数测定法适用于对防滑性能有要求的铝地板和铝箔等产品。

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 2481.1—1998 固结磨具用磨料 粒度组成的检测和标记 第1部分:粗磨粒 F4~F220

GB/T 4100—2015 陶瓷砖

GB/T 4957 非磁性金属体上非导电覆盖层 覆盖层厚度测量 涡流方法

GB/T 8005.3 铝及铝合金术语 第3部分:表面处理

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 9258.1—2000 涂附磨具用磨料 粒度分析 第1部分:粒度组成

GB/T 17671 水泥胶砂强度检验方法(ISO方法)

YS/T 1186 铝表面阳极氧化膜与有机聚合物膜耐磨性能测试用落砂试验仪

3 术语和定义

GB/T 8005.3界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

参比试样 reference specimen

按供需双方认可的条件制备的试样。

4 喷磨法

4.1 方法概述

在规定的条件下,将干燥的碳化硅颗粒喷射在试样的检验区上,直至其裸露出金属基体。用磨耗时间和耗砂质量评价膜层的耐磨性。

4.2 仪器设备

4.2.1 喷磨试验仪

喷磨试验仪的要求参见附录 A。

4.2.2 涡流测厚仪

分辨力为 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

4.2.3 天平

感量为 $0.1\ \text{g}$ 。

4.2.4 欧姆表

应准确显示 $5\ 000\ \Omega$ 的刻度,接触探头尖端应具有光滑的球形表面。

4.2.5 游标卡尺

分辨力优于 $0.02\ \text{mm}$ 。

4.3 试验材料

磨料为碳化硅,粒度符合 GB/T 2481.1—1998 中 F100 的规定。使用筛孔公称尺寸为 $300\ \mu\text{m}$ 的筛子粗筛,取筛下料在 $105\ ^\circ\text{C}$ 下干燥不低于 $2\ \text{h}$,干燥后应储存在干净的密封容器中,磨料重复使用次数不超过 50 次,每次使用之前均应粗筛和干燥。

4.4 试验环境

环境温度应为室温,相对湿度应不大于 65% 。

4.5 试样

4.5.1 标准试样

普通阳极氧化标准试样的制备见附录 B,硬质阳极氧化标准试样的制备见附录 C。

4.5.2 参比试样

参比试样为按供需双方认可的条件制备的试样。

4.5.3 试验用试样

4.5.3.1 试样应取自产品的有效表面,取样位置不应靠近变形位置和产品边缘。如果无法对产品本身进行测试,应使用相同材料、相同工艺的试片代替试样进行测试。

4.5.3.2 试样尺寸应适合喷磨试验仪的试样支架尺寸,宜为 $100\ \text{mm}\times 100\ \text{mm}$ 。

4.5.3.3 切割试样时不应损坏其检验表面。

4.5.3.4 冷封孔的阳极氧化膜试样,应放置 24 h 后试验。其余类型试样,放置时间由供需双方商定。

4.6 试验步骤

4.6.1 试验参数设定

4.6.1.1 试验时在供料漏斗中加入磨料。若耐磨性能是按磨料用量来测量,则应称量供料漏斗中磨料的质量。

4.6.1.2 将试验气体的流速或压强调整至选定值,试验条件参见表 1,也可根据膜层的特点由供需双方商定试验条件。

表 1 喷磨试验参考试验条件

项目	试验条件		
	普通阳极氧化膜	硬质阳极氧化膜	有机聚合物膜
角度	55°±1°		
磨料流量	25 g/min±1 g/min		
气流压力	7.5 kPa±0.5 kPa	15 kPa±0.5 kPa	
喷嘴下端距试样距离	10 mm±1 mm		

4.6.2 目视法

4.6.2.1 将标准试样或参比试样用水或适当的有机溶剂清洁,试验面应无污垢、污渍和其他异物。

4.6.2.2 确定标准试样或参比试样的试验面。按 GB/T 4957 规定的方法,用涡流测厚仪测量试验位置的平均膜厚。将标准试样或参比试样固定在试样支架上,其试验面与喷嘴相对,试样支架为一个倾斜式平台。

4.6.2.3 磨料下落和试验计时应同时进行,在整个检验周期内,应保证磨料喷射顺畅无堵塞。对于不同种类的膜层,使用的磨料流量或气流压力参见表 1,也可由供需双方商定。

4.6.2.4 试验仪显示磨痕短轴长度为 2.0 mm 时停止试验,使用游标卡尺或其他满足精度的测量仪器测量短轴长度,满足 2.0 mm±0.2 mm 时记录试验时间 t 或试验所用磨料质量。

4.6.2.5 按 4.6.2.1~4.6.2.4 对试样进行测试。

4.6.3 电阻法

4.6.3.1 试验前应使用水或适当的有机溶剂清洁试样,试验面无污垢、污渍和其他异物。

4.6.3.2 确定标准试样或参比试样的试验面。按 GB/T 4957 规定的方法,用涡流测厚仪测量试验位置的平均膜厚。将标准试样固定在试样支架上,其试验面与喷嘴相对,试样支架为一个倾斜式平台。

4.6.3.3 磨料下落和试验计时应同时进行,在整个检验周期内,应保证磨料喷射顺畅无堵塞。对于不同种类的膜层,使用的磨料流量或气流压力参见表 1,也可由供需双方商定。

4.6.3.4 试验面刚出现黑点时,停止试验,记录试验时间 t_1 ,清洁试样表面。用欧姆表测量基底金属与被测表面之间的电阻,每个试验区域进行三次测量。

4.6.3.5 当任一试验值低于 5 000 Ω 时,在试验面上另选其他位置以试验时间 $t_1 - 10\%t_1$,按 4.6.3.2~4.6.3.4 重复试验,直到试验值高于 5 000 Ω 停止试验,记录试验时间为 t_i (i 为试验次数),以 t_{i-1} 所示时间为磨耗时间。

4.6.3.6 当试验值均高于 5 000 Ω 时,在试验面上另选其他位置以试验时间 $t_1 + 10\%t_1$,按 4.6.3.2~

4.6.3.4 重复试验,直到任一试验值低于 5 000 Ω 停止试验,记录试验时间为 t_i (i 为试验次数),以 t_{i-1} 所示时间为磨耗时间。

4.6.3.7 也可称量漏斗中剩余磨料的质量,计算试验所用的磨料质量。

4.6.3.8 按 4.6.3.1~4.6.3.7 对试样进行测试。

4.7 结果计算

4.7.1 磨耗时间 S_t

采用目视法时取三次试验时间平均值作为试样的磨耗时间 S_t ,采用电阻法时取三次试验时间最小值作为试样的磨耗时间 S_t ,单位为秒(s),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

4.7.2 耗砂质量 S_m

采用目视法时取三次试验所用的磨料质量的平均值作为试样的耗砂质量 S_m ,采用电阻法时取三次试验所用的磨料质量最小值作为试样的耗砂质量 S_m ,单位为克(g),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

4.7.3 单位磨耗时间 R_{wt}

按式(1)计算试样的单位磨耗时间 R_{wt} ,单位为秒每微米(s/μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至两位有效数字。

$$R_{wt} = \frac{S_t}{d_t} \dots\dots\dots(1)$$

式中:

S_t ——试样的磨耗时间,单位为秒(s);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

4.7.4 单位耗砂质量 R_M

按式(2)计算试样的单位耗砂质量 R_M ,单位为克每微米(g/μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$R_M = \frac{S_m}{d_t} \dots\dots\dots(2)$$

式中:

S_m ——试样的耗砂质量,单位为克(g);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

4.7.5 平均磨耗性 R 、相对磨耗性 R_{rel}

4.7.5.1 按式(3)计算平均磨耗性 R ,为无量纲量,数值按 GB/T 8170 的规则修约至两位有效数字。

$$R = \frac{K \cdot S}{d_t} \dots\dots\dots(3)$$

式中:

S ——试样的磨耗时间或耗砂质量,单位为秒(s)或克(g);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

K ——按式(4)计算喷磨系数 K ,单位为微米每秒(μm/s)或毫米每克(μm/g),数值按 GB/T 8170 的规则修约至两位有效数字。

$$K = \frac{d_s}{S_s} \times 10 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中:

d_s ——标准试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm);

S_s ——标准试样的磨耗时间或耗砂质量,单位为秒(s)或克(g)。

4.7.5.2 按式(5)计算单位膜厚的相对磨耗性 R_{rel} ,为无量纲量,数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$R_{\text{rel}} = \frac{S}{d_t} \times \frac{d_r}{S_r} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中:

S ——试样的磨耗时间或耗砂质量,单位为秒(s)或克(g);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm);

S_r ——参比试样的磨耗时间或耗砂质量,单位为秒(s)或克(g);

d_r ——参比试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

5 落砂法

5.1 方法概述

使用干燥的碳化硅或标准砂磨料,在规定的高度自由下落冲刷试样表面,直至磨穿膜层,用所用磨料的质量或体积来评定膜层的耐磨性能。

5.2 仪器设备

5.2.1 落砂测试仪

落砂测试仪的性能及安装要求应符合 YS/T 1186。

5.2.2 欧姆表

应准确显示 $5\,000\ \Omega$ 的刻度,接触探头尖端应具有光滑的球形表面。

5.3 试验材料

5.3.1 阳极氧化膜及阳极氧化复合膜试样所用的试验材料为黑色碳化硅磨料,粒度应符合 GB/T 2481.1—1998 中 F80 的规定。

5.3.2 有机聚合物膜试样所用的试验材料为符合 GB/T 17671 规定的标准砂磨料。

5.3.3 磨料使用前在 $105\ \text{℃}$ 下干燥不低于 2 h。干燥后的磨料应储存在干净的密封容器中,磨料重复使用次数不超过 50 次。

5.4 试验环境

环境温度应为室温,相对湿度应不大于 65%。

5.5 试验用试样

5.5.1 试样尺寸宜为 $100\ \text{mm} \times 100\ \text{mm}$ 。试验前采用涡流法测定每个试样的对应试验点的膜层厚度,并记录。

5.5.2 试样应取自产品的有效表面,取样位置不应靠近变形位置和产品边缘。

5.5.3 如果无法对产品本身进行测试,应使用相同材料、相同工艺、相同加工条件的试片代替试样进行测试。

5.5.4 冷封孔的阳极氧化膜试样,应放置 24 h 后试验。其余类型试样,放置时间应由供需双方商定。

5.6 试验步骤

5.6.1 试验参数设定

试样平面与落砂束流的夹角应为 $45^{\circ} \pm 1^{\circ}$ 。碳化硅的流量应为 $320 \text{ g/min} \pm 10 \text{ g/min}$,标准砂的流量应为 16 s~18 s 内流出 2 L。

5.6.2 目视法

5.6.2.1 试样用水或适当的有机溶剂清洁,试验面应无污垢、污渍和其他异物。

5.6.2.2 将磨料放入漏斗中,打开落砂开关,使磨料落下约 1 min,确认磨料流量在规定范围内。如不在规定范围,应调整控制杆(A 型落砂仪)或开关(B 型落砂仪)以调整流量。

5.6.2.3 将试样固定在试样支架上,其试验面与导管相对,试验面距离导管下边缘约 30 mm。

5.6.2.4 打开落砂开关开始试验。

5.6.2.5 对于阳极氧化膜,目视观察磨痕短轴长度为 2.0 mm 时停止试验,使用游标卡尺或其他满足精度的测量仪器测量短轴长度,满足 $2.0 \text{ mm} \pm 0.2 \text{ mm}$ 时记录试验时间 t ,也可计算试验所用磨料质量或体积。

5.6.2.6 对于有机聚合物膜,目视观察磨痕短轴长度为 4.0 mm 时停止试验,使用游标卡尺或其他满足精度的测量仪器测量短轴长度,满足 $4.0 \text{ mm} \pm 0.4 \text{ mm}$ 时记录试验时间 t ,也可计算试验所用的磨料质量或体积。

5.6.3 电阻法

5.6.3.1 按 5.6.2.1~5.6.2.4 的步骤进行试验。

5.6.3.2 试验面刚出现黑点时,停止试验,记录试验时间 t_1 ,清洁试样表面。用欧姆表测量基底金属与被测表面之间的电阻,每个试验区域进行三次测量。

5.6.3.3 当任一试验值低于 $5\,000 \Omega$ 时,在试验面上另选其他位置以试验时间 $t_1 - 10\%t_1$,按 5.6.3.1~5.6.3.2 重复试验,直到试验值高于 $5\,000 \Omega$ 停止试验,记录试验时间为 t_i (i 为试验次数),以 t_{i-1} 所示时间为磨耗时间。

5.6.3.4 当试验值均高于 $5\,000 \Omega$ 时,在试验面上另选其他位置以试验时间 $t_1 + 10\%t_1$,按 5.6.3.1~5.6.3.2 重复试验,直到任一试验值低于 $5\,000 \Omega$ 停止试验,记录试验时间为 t_i (i 为试验次数),以 t_{i-1} 所示时间为磨耗时间。

5.7 结果计算

5.7.1 磨耗时间 S_t

目视法时取三次试验时间平均值作为试样的磨耗时间 S_t ,电阻法时取三次试验时间最小值作为试样的磨耗时间 S_t ,单位为秒(s),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

5.7.2 耗砂体积 S_v

目视法时取三次试验磨料消耗体积平均值作为试样的耗砂体积 S_v ,电阻法时取三次试验磨料消耗体积最小值作为试样的耗砂体积 S_v ,单位为升(L),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

5.7.3 耗砂质量 S_m

目视法时取三次试验磨料消耗质量平均值作为试样的耗砂质量 S_m ,电阻法时取三次试验磨料消耗质量最小值作为试样的耗砂质量 S_m ,单位为克(g),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

5.7.4 单位磨耗时间 R_{wt}

按式(6)计算试样的单位磨耗时间 R_{wt} ,单位为秒每微米(s/ μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至两位有效数字。

$$R_{wt} = \frac{S_t}{d_t} \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

S_t ——试样的磨耗时间,单位为秒(s);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

5.7.5 单位耗砂体积 R_{wv}

按式(7)计算试样的单位耗砂体积 R_{wv} ,单位为升每微米(L/ μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至小数点后一位。

$$R_{wv} = \frac{S_v}{d_t} \quad \dots\dots\dots (7)$$

式中:

S_v ——试样的耗砂体积 S_v ,单位为升(L);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

5.7.6 单位耗砂质量 R_{wm}

按式(8)计算试样的单位耗砂质量 R_{wm} ,单位为克每微米(g/ μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至小数点后一位。

$$R_{wm} = \frac{S_m}{d_t} \quad \dots\dots\dots (8)$$

式中:

S_m ——试样的耗砂质量 S_m ,单位为克(g);

d_t ——试样的试验位置平均膜厚,单位为微米(μm)。

6 纸带轮磨法

6.1 方法概述

使用绕有碳化硅纸带的研磨轮往复研磨试样,每完成一次双行程,研磨轮转动一个小角度,使未使用过的纸带与试验区域接触。根据膜厚或质量的减少量评价试样的耐磨性或耐磨系数,所得结果可与标准试样或参比试样的试验结果相比较,也可逐层磨损,建立膜厚损失量和双行程次数之间的关系。

6.2 仪器设备

6.2.1 纸带轮磨试验仪

纸带轮磨试验仪的要求参见附录 D。

6.2.2 涡流测厚仪

分辨力为 $0.1\ \mu\text{m}$ 。

6.2.3 分析天平

感量为 $0.1\ \text{mg}$ 。

6.3 试验材料

对于普通阳极氧化膜,碳化硅纸带的粒度符合 GB/T 9258.1—2000 中 P320 的规定;对于硬质阳极氧化膜和有机聚合物膜,碳化硅纸带的粒度符合 GB/T 9258.1—2000 中 P240 的规定。碳化硅纸带宽为 $12.0\ \text{mm}\pm 0.1\ \text{mm}$,长度应刚好绕在研磨轮上,不应有接头,碳化硅纸带可以粘上或用机械法固定。

6.4 试验环境

环境温度为室温,相对湿度应不大于 65%。

6.5 试样

6.5.1 标准试样

普通阳极氧化膜标准试样的制备见附录 B,硬质阳极氧化膜标准试样的制备见附录 C。

6.5.2 参比试样

参比试样为按供需双方认可的条件制备的试样。

6.5.3 试验用试样

6.5.3.1 试样应取自产品的有效表面,取样位置不应靠近变形位置和产品边缘。如果无法对产品本身进行测试,应使用相同材料、相同工艺、相同加工条件的试片代替试样进行测试。

6.5.3.2 试样宜为 $50\ \text{mm}\times 50\ \text{mm}$,最小尺寸为 $50\ \text{mm}\times 30\ \text{mm}$,试样厚度宜为 $2\ \text{mm}\sim 5\ \text{mm}$,较薄的试样可固定在平板金属的表面进行试验。

6.5.3.3 冷封孔的阳极氧化膜试样,应放置 24 h 后试验。其余类型试样,放置时间由供需双方协商决定。

6.6 试验步骤

6.6.1 耐磨性测试

6.6.1.1 试样用水或适当的有机溶剂清洁,试验面应无污垢、污渍和其他异物。

6.6.1.2 用涡流测厚仪测量试验区域至少三个位置的膜层厚度,并计算平均膜厚 d_{1t} 。需要用质量变化表示耐磨性时,用天平称取试样的质量 m_{1t} 。

6.6.1.3 将试样固定在仪器上。

6.6.1.4 在砂轮外缘贴上新研磨纸带。试样为阳极氧化膜时载荷为 $3.9\ \text{N}\pm 0.1\ \text{N}$,试样为硬质阳极氧化膜和有机聚合物膜时载荷为 $19.6\ \text{N}\pm 0.5\ \text{N}$ 。

6.6.1.5 根据试样种类和膜厚,使仪器运行 400 ds(双行程)或供需双方商定的次数。

6.6.1.6 从仪器中取出试样,擦拭去除碎屑,计算平均膜厚 d_{2t} 或称量质量 m_{2t} 。

6.6.1.7 不应在距离试样两端 3 mm 的区域测量膜厚。

6.6.1.8 为避免膜层增重,应尽早称量试样质量。

6.6.1.9 依据 6.6.1.1~6.6.1.6 的要求,重新选择试验区域再进行 2 次试验。

6.6.2 耐磨系数测试

6.6.2.1 标准试样按 6.6.1 的要求进行试验,计算磨损前标准试样平均膜厚 d_{1s} 或称量磨损前标准试样质量 m_{1s} ,计算磨损前标准试样 d_{2s} 或称量磨损后标准试样质量 m_{2s} 。

6.6.2.2 试样按 6.6.1 的要求进行试验。

6.6.3 相对耐磨系数测试

6.6.3.1 参比试样按 6.6.1 的要求进行试验,计算磨损前参比试样平均膜厚 d_{1r} 或称量磨损前参比试样质量 m_{1r} ,计算磨损前参比试样 d_{2r} 或称量磨损后参比试样质量 m_{2r} 。

6.6.3.2 试样按 6.6.1 的要求进行试验。

6.7 结果计算

6.7.1 厚度磨耗性 R_w

按式(9)计算厚度磨耗性 R_w ,单位为双行程每微米(ds/ μm),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$R_w = \frac{N}{d_{1t} - d_{2t}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

式中:

N ——试样的双行程次数,单位为双行程(ds);

d_{1t} ——磨损前试样平均膜厚,单位为微米(μm);

d_{2t} ——磨损后试样平均膜厚,单位为微米(μm)。

6.7.2 质量磨耗性 R_{Mw}

按式(10)计算质量磨耗性 R_{Mw} ,单位为双行程每毫克(ds/mg),数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$R_{Mw} = \frac{N}{m_{1t} - m_{2t}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

式中:

N ——试样的双行程次数,单位为双行程(ds);

m_{1t} ——磨损前试样质量,单位为毫克(mg);

m_{2t} ——磨损后试样质量,单位为毫克(mg)。

6.7.3 厚度耐磨系数 I_w

按式(11)计算厚度耐磨系数 I_w ,无量纲,数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$I_w = \frac{d_{1t} - d_{2t}}{d_{1s} - d_{2s}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

式中:

d_{1t} ——磨损前试样平均膜厚,单位为微米(μm);

d_{2t} ——磨损后试样平均膜厚,单位为微米(μm);

d_{1s} ——磨损前标准试样平均膜厚,单位为微米(μm);

d_{2s} ——磨损后标准试样平均膜厚,单位为微米(μm)。

6.7.4 质量耐磨系数 I_{MW}

按式(12)计算质量耐磨系数 I_{MW} ，无量纲，数值按 GB/T 8170 的规则修约至个位。

$$I_{MW} = \frac{m_{1t} - m_{2t}}{m_{1s} - m_{2s}} \dots\dots\dots(12)$$

式中：

- m_{1t} ——磨损前试样质量，单位为毫克(mg)；
- m_{2t} ——磨损后试样质量，单位为毫克(mg)；
- m_{1s} ——磨损前标准试样质量，单位为毫克(mg)；
- m_{2s} ——磨损后标准试样质量，单位为毫克(mg)。

6.7.5 相对厚度耐磨系数 R_{cw}

用式(13)计算相对厚度耐磨系数 R_{cw} ，无量纲量，数值按 GB/T 8170 的规则修约至小数点后 2 位。

$$R_{cw} = \frac{d_{1r} - d_{2r}}{d_{1t} - d_{2t}} \times 100 \dots\dots\dots(13)$$

式中：

- d_{1r} ——磨损前参比试样的平均膜厚，单位为微米(μm)；
- d_{2r} ——磨损后参比试样的平均膜厚，单位为微米(μm)；
- d_{1t} ——磨损前试样的平均膜厚，单位为微米(μm)；
- d_{2t} ——磨损后试样的平均膜厚，单位为微米(μm)。

6.7.6 相对质量耐磨系数 $R_{cw,m}$

用式(14)计算相对质量磨耗系数 $R_{cw,m}$ ，无量纲量，数值按 GB/T 8170 的规则修约至小数点后 2 位。

$$R_{cw,m} = \frac{m_{1r} - m_{2r}}{m_{1t} - m_{2t}} \times 100 \dots\dots\dots(14)$$

式中：

- m_{1r} ——磨损前参比试样的质量，单位为毫克(mg)；
- m_{2r} ——磨损后参比试样的质量，单位为毫克(mg)；
- m_{1t} ——磨损前试样的质量，单位为毫克(mg)；
- m_{2t} ——磨损后试样的质量，单位为毫克(mg)。

7 橡胶轮磨法

7.1 方法概述

在橡胶砂轮上加规定质量的砝码，用橡胶砂轮磨擦试样表面，试验经过规定转数后，用膜层质量损失或是否漏出基体来评定膜层的耐磨性能。

7.2 仪器设备

7.2.1 橡胶轮磨耗仪

橡胶轮磨耗仪要求参见附录 E。

7.2.2 分析天平

感量为 0.1 mg。

7.3 试验材料

型号为 CS17 的橡胶磨轮,型号为 S11 的预磨砂纸。

7.4 试验环境

环境温度为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$,相对湿度为 $50\%\pm 5\%$ 。

7.5 试验用试样

试样的形状和尺寸应能使试板正确固定在仪器上,试样中心开有固定孔,固定孔尺寸为 $\phi 6.35\text{ mm}\sim\phi 10\text{ mm}$,试样为直径 $100\text{ mm}\pm 5\text{ mm}$ 的圆盘。除非另外规定,试样表面处理后在试验环境下至少存放 24 h。

7.6 试验步骤

7.6.1 试验前应清洁磨轮,用预磨砂纸磨 50 周。

7.6.2 将试样置于转台上,设置转速为 $60\text{ r/min}\pm 2\text{ r/min}$ 或 $70\text{ r/min}\pm 2\text{ r/min}$ 。

7.6.3 装好负荷为 1 000 g 的橡胶磨轮,在试验区域附近安置吸尘口,开始吸尘。对于硬质阳极氧化膜试样设置预磨周期 1 000 转,对于普通阳极氧化膜及有机聚合物膜试样设置预磨周期 50 转,对于有机聚合物膜试样预磨周期由供需双方商定。预磨完成后,将试样取下称量试样质量 m_{1t} 。

7.6.4 再次将试样置于转台上,安置好吸尘口,开始吸尘。按照产品要求设置试验转数,进行试验。完成后取下试样,擦拭去除碎屑,称量试样质量 m_{2t} 。

7.7 结果计算

按式(15)计算质量损失 Δm ,单位为毫克(mg),按 GB/T 8170 的规则修约至三位有效数字。

$$\Delta m = (m_{1t} - m_{2t}) \dots\dots\dots (15)$$

式中:

m_{1t} ——试样预磨后的质量,单位为毫克(mg);

m_{2t} ——试样磨规定转数后的质量,单位为毫克(mg)。

7.8 结果判定

判定试样质量损失是否处于合格范围,观察试样是否露出基体。

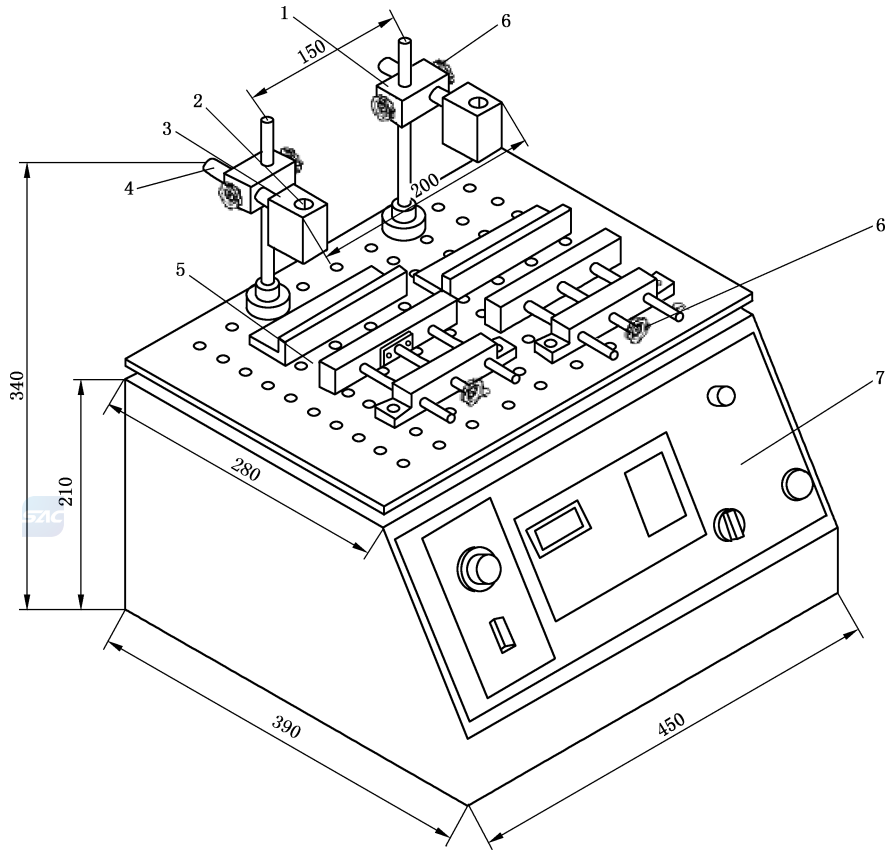
8 橡皮磨擦法

8.1 方法概述

用橡皮擦沿试验区域进行规定载荷、行程和往复次数的擦拭后,以基材裸露情况来评定膜层的耐磨性能。

8.2 仪器设备

橡皮擦磨试验机结构示意图见图 1。



说明：

- | | |
|---------|-----------|
| 1——套筒； | 5——试样夹持位； |
| 2——橡皮擦； | 6——塑胶螺帽； |
| 3——铜套； | 7——控制面板。 |
| 4——测试杆； | |

图 1 橡皮擦磨试验机结构示意图

8.3 试验环境

环境温度为室温，相对湿度小于 85%。

8.4 试验用试样

试样应适合橡皮摩擦试验机的试样台尺寸，宜为 50 mm×50 mm。

8.5 试验步骤

- 8.5.1 将橡皮擦放置在铜套内(伸出铜套的橡皮长度不宜超过 1.6 mm)并将铜套锁紧在测试杆上。
- 8.5.2 将调速器开关调到最低，开机使机器空转，确认机器正常。
- 8.5.3 将试样固定在试验平台上，调节测试杆位置使橡皮擦与试样测试部位垂直，加上相应载荷测试砝码。
- 8.5.4 按产品标准或供需双方商定的试验速度和摩擦次数进行试验。
- 8.5.5 观察表面磨损情况或测量试样表面裸露基材的长度。

8.6 结果判定

试样表面裸露基材的长度不超过 2 mm 时为合格,否则为不合格。

9 摩擦系数测定法

9.1 方法概述

在试样表面水平拉动一定载荷的滑块,使用测力计测量水平方向的摩擦力。通过摩擦力与载荷之比求出摩擦系数。

9.2 铝箔摩擦系数测量

9.2.1 仪器设备

摩擦系数测量仪结构示意图见图 2,试验原理见图 3。滑块质量为 200 g,滑块尺寸为 63 mm × 63 mm。

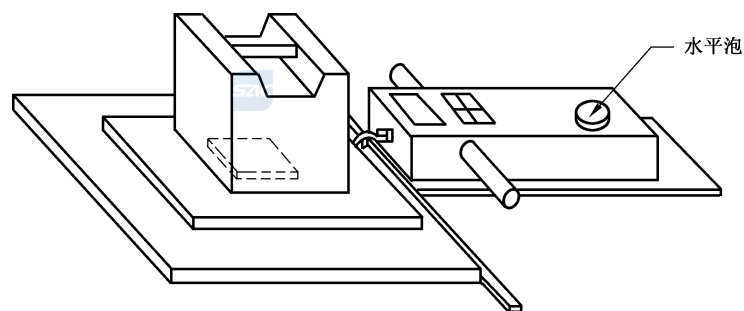
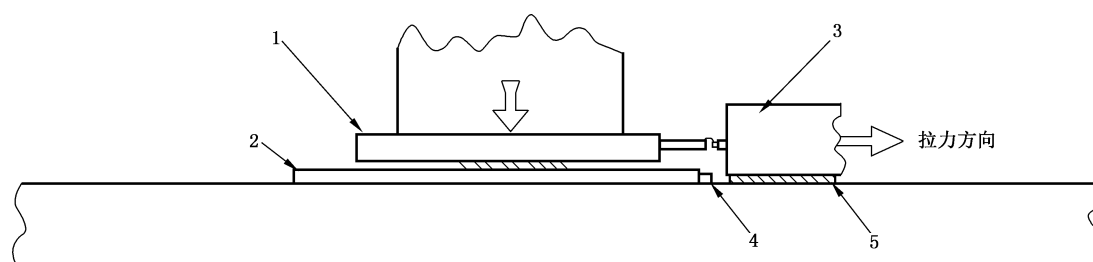


图 2 摩擦系数测量仪结构示意图



说明:

1——滑块;
2——下试样;
3——测力计;

4——防滑装置;
5——垫片。

图 3 摩擦系数测量仪试验原理图

9.2.2 试验用试样

试样包括尺寸大于 80 mm × 200 mm 的下试样和尺寸为 70 mm × 70 mm 上试样。试样表面应平整清洁、无毛刺。用上试样包住滑块。

9.2.3 试验步骤

- 9.2.3.1 将下试样试验面向上,平整地固定在水平试验台上,下试样纵向与试验台的长度方向应平行。
- 9.2.3.2 包住滑块的上试样纵向与滑块纵向保持一致。
- 9.2.3.3 将包住滑块的上试样平稳地放在下试样中央,将滑块连接到拉力计上,使两试样的纵向与滑动方向平行。
- 9.2.3.4 两试样接触后保持 15 s,平行试样表面缓慢拉动拉力计,读取两试样开始相对滑动时拉力计读数,为静摩擦力 F_j 。
- 9.2.3.5 两试样以 100 mm/min±10 mm/min 的速度相对移动 100 mm 距离内力的平均值为动摩擦力 F_d 。
- 9.2.3.6 重复以上步骤进行另两组试样的测试,以三组试样的算术平均值表示,取三位有效数字。

9.2.4 结果计算

9.2.4.1 静摩擦系数 U_j

按式(16)计算静摩擦系数 U_j ,无量纲值,按 GB/T 8170 的规则修约至三位有效数字。

$$U_j = \frac{\overline{F_j}}{m \cdot g} \dots\dots\dots(16)$$

式中:

- $\overline{F_j}$ ——三次测量的静摩擦力平均值,单位为牛顿(N);
- m ——滑块质量,单位为千克(kg);
- g ——重力加速度,为 9.8 N/kg。

9.2.4.2 动摩擦系数 U_d

按式(17)计算动摩擦系数 U_d ,无量纲值,按 GB/T 8170 的规则修约至三位有效数字。

$$U_d = \frac{\overline{F_d}}{m \cdot g} \dots\dots\dots(17)$$

式中:

- $\overline{F_d}$ ——三次测量的动摩擦力平均值,单位为牛顿(N);
- m ——滑块质量,单位为千克(kg);
- g ——重力加速度,为 9.8 N/kg。

9.3 铝地板摩擦系数测量

按 GB/T 4100—2015 附录 M 进行试验。

10 试验报告

试验报告至少应包括以下内容:

- a) 本部分编号;
- b) 试验方法(喷磨法、落砂法、纸带轮磨法、橡胶轮磨法、橡皮磨擦法和摩擦系数测定法);
- c) 试样和(如适用)标准试样和/或参比试样的编号;
- d) 使用的仪器;
- e) 试验点数量及其位置;
- f) 喷磨法试验用试验区域平面与导管轴之间的角度、磨料种类及其粒度、气体压力;

- g) 落砂法试验用磨料种类及其粒度；
- h) 纸带轮磨法试验用砂轮与试验表面之间的力、砂带种类；
- i) 橡胶轮磨法试验用橡胶轮种类、载荷、预磨转数；
- j) 橡皮磨擦法试验用橡皮擦种类、橡皮伸出长度、载荷；
- k) 摩擦系数测定法试验用滑块质量；
- l) 关于试验现象和检测面特性的说明；
- m) 与试验程序的偏差；
- n) 观察到的任何异常特征；
- o) 试验结果；
- p) 试验日期。

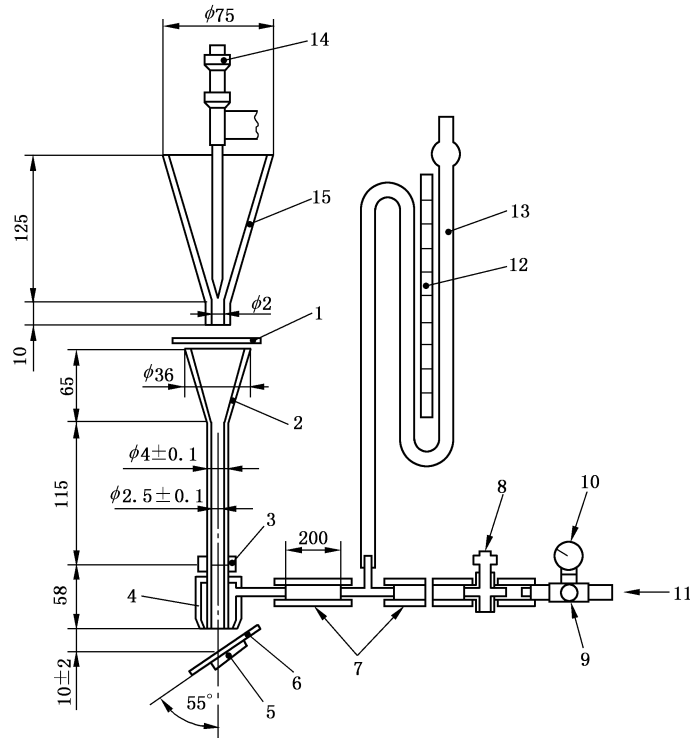


附录 A
(资料性附录)
喷磨试验仪的要求

A.1 A 型喷磨试验仪

A.1.1 A 型喷磨试验仪的基本结构示意图见图 A.1。

单位为毫米



说明：

- | | |
|---------|----------------|
| 1——阀门； | 9 ——控制阀； |
| 2——漏斗； | 10——压力表； |
| 3——接头； | 11——空气或惰性气体供应； |
| 4——喷嘴； | 12——刻度； |
| 5——支撑架； | 13——流量计； |
| 6——试样； | 14——磨料流量调节； |
| 7——导管； | 15——供料漏斗。 |
| 8——截止阀； | |

图 A.1 A 型喷磨试验仪的基本结构示意图

A.1.2 喷嘴的结构示意图 A.2。喷嘴一般由黄铜或不锈钢制成，设计上要求喷嘴的耐磨性很强。

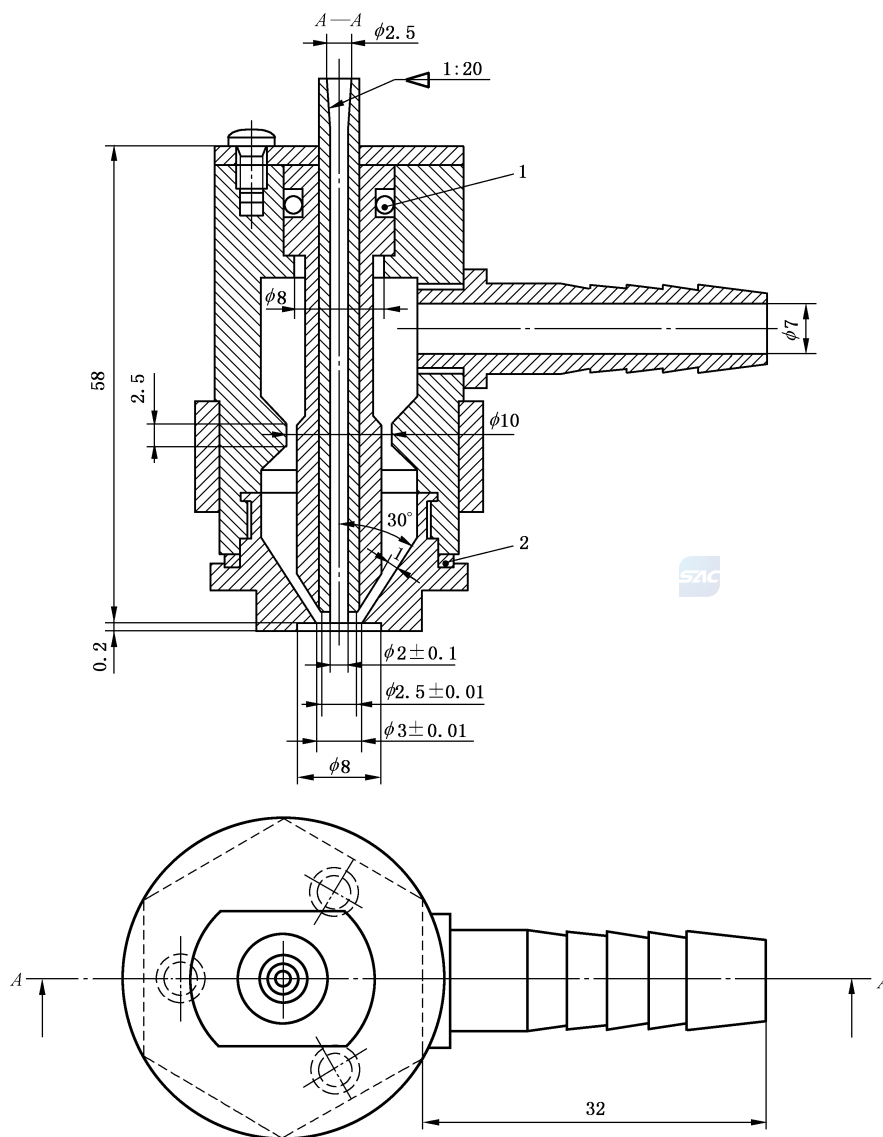
A.1.3 喷磨装置由玻璃、黄铜、不锈钢或其他的硬质材料制成。它主要由两个管子组成，管子之间为同轴固定。外管与净化干燥的压缩空气或惰性气体发生器相通，所供气体由控制阀严格控制其流速。干燥磨料通过内管在出口端与空气混合后，直接喷射在阳极氧化膜试样的表面上。

A.1.4 计时器可根据需要进行选择。

A.1.5 供料漏斗用于储存磨料,并能以(20 g/min~30 g/min)±1 g/min的速度供料。

A.1.6 有些喷磨试验仪的结构虽然设计合理,但是在实际应用中,运用这些设计却难以生产出一批能产生相同试验结果、且不受某些因素影响而产生误差的喷磨试验仪。

单位为毫米



说明:

1——O型环,通常由弹性材料制成;

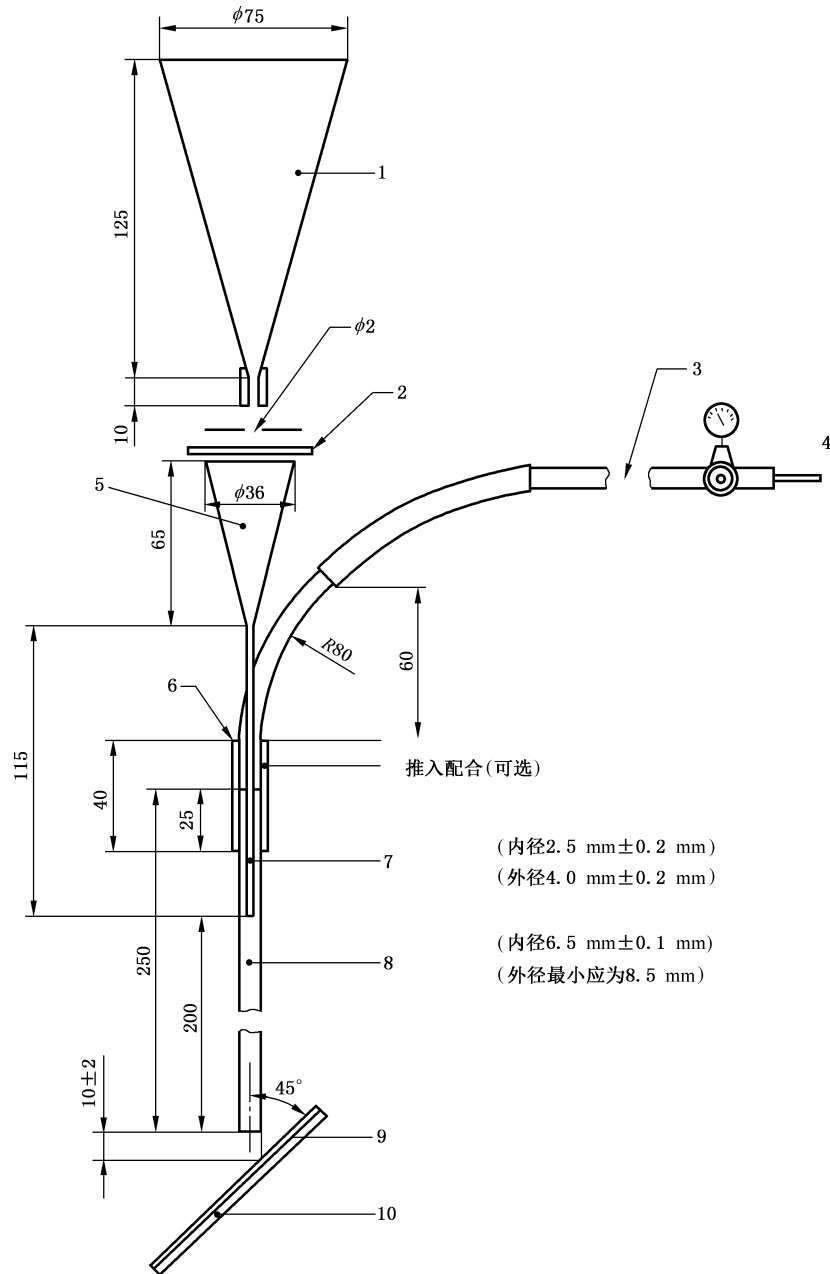
2——外壳。

图 A.2 喷嘴的结构示意图

A.2 B型喷磨试验仪

A.2.1 B型喷磨试验仪的基本结构示意图 A.3。外管直径约为 8.5 mm。

A.2.2 为保证试验终点的准确判断,建议使用摄像头和图像显示器观察磨痕尺寸。



说明：

- | | |
|----------|----------|
| 1——供料漏斗； | 6——金属套管； |
| 2——挡板； | 7——内管； |
| 3——压力计； | 8——外管； |
| 4——供气口； | 9——试样； |
| 5——漏斗； | 10——试样架。 |

图 A.3 B 型喷磨试验仪的基本结构示意图

附录 B

(规范性附录)

普通阳极氧化膜标准试样的制备

B.1 方法概述

将指定牌号和状态的铝板制成固定尺寸的试样,于规定的条件下,在硫酸水溶液中对试样进行阳极氧化,使试样表面生成厚度为 $20\ \mu\text{m}\pm 2\ \mu\text{m}$ 的阳极氧化膜。

B.2 试样

选用 H14 状态的 1050A 抛光铝板或冷轧铝板,尺寸为 $140\ \text{mm}\times 70\ \text{mm}$,厚度为 $1.0\ \text{mm}\sim 1.6\ \text{mm}$ 。

B.3 制备过程

B.3.1 预处理

预处理只进行脱脂处理(允许采用轻微的碱浸蚀、电化学抛光或化学抛光)。

B.3.2 阳极氧化

B.3.2.1 用硫酸水溶液进行阳极氧化,溶液中游离硫酸浓度应为 $180\ \text{g/L}\pm 2\ \text{g/L}$,铝离子浓度应 $5\ \text{g/L}\sim 10\ \text{g/L}$ 。

B.3.2.2 阳极氧化应在 $20\ \text{℃}\pm 1\ \text{℃}$ 的温度下进行,电流密度应为 $1.5\ \text{A/dm}^2\pm 0.1\ \text{A/dm}^2$,采用压缩空气进行搅拌,氧化时间为 45 min。

B.3.2.3 试样在槽液中进行氧化时,应呈轴水平、竖直放置。阳极表面保持强烈搅拌,电流应稳定,波动不超过 5%。每次氧化的试样不应超过 20 块,每个试样所需槽液的体积不小于 10 L。

B.3.3 封孔

在 $1\ \text{g/L}$ 的醋酸铵的去离子水中($\text{pH}5.5\sim 6.5$),于沸腾情况下封孔 60 min。

附 录 C
(规范性附录)

硬质阳极氧化膜标准试样的制备

C.1 方法概述

将指定牌号和状态的铝板制成固定尺寸的试样,于规定的条件下,在硫酸水溶液中对试样进行硬质阳极氧化,使试样表面生成厚度为 $50\ \mu\text{m}\pm 5\ \mu\text{m}$ 的阳极氧化膜。

C.2 试样

用 H14 状态的 1050A 抛光铝板或冷轧铝板,尺寸为 $100\ \text{mm}\times 80\ \text{mm}$,厚度为 $2\ \text{mm}\sim 5\ \text{mm}$ 。

C.3 制备过程

C.3.1 预处理

预处理只进行脱脂处理(允许采用轻微的碱浸蚀、电化学抛光或化学抛光)。

C.3.2 硬质阳极氧化

C.3.2.1 用硫酸水溶液进行阳极氧化,溶液中游离硫酸浓度应为 $180\ \text{g/L}\pm 2\ \text{g/L}$,铝离子浓度应为 $1\ \text{g/L}\sim 5\ \text{g/L}$ 之间。

C.3.2.2 阳极氧化应在 $0\ ^\circ\text{C}\pm 1\ ^\circ\text{C}$ 的温度下进行,电流密度应为 $3.50\ \text{A/dm}^2\pm 0.35\ \text{A/dm}^2$,采用压缩空气进行搅拌,氧化时间为 $40\ \text{min}$ 。

C.3.2.3 试样在槽液中进行氧化时,应呈轴水平、竖直放置。阳极表面保持强烈搅拌,电流应稳定,波动不超过 5%。每次氧化的试样不应超过 20 块,每个试样所需槽液的体积不小于 10 L。

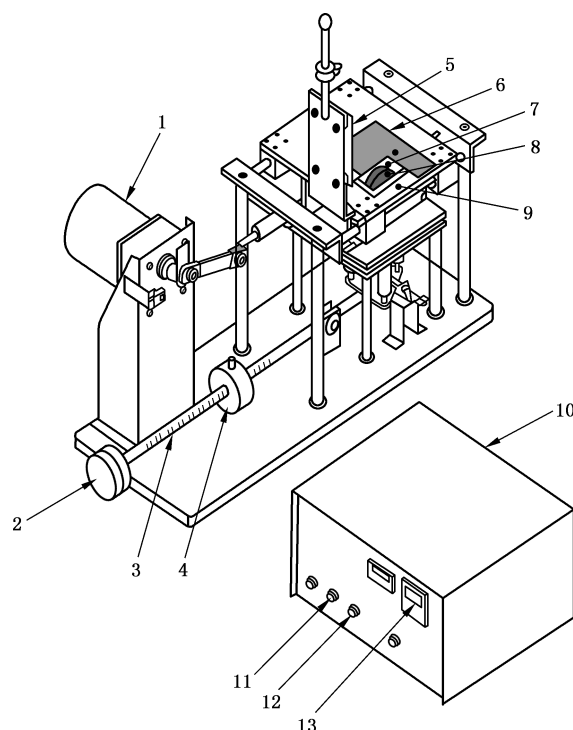
C.3.3 后处理

冷空气风干,不需要封孔。



附录 D
(资料性附录)
纸带轮磨试验仪的要求

D.1 纸带轮磨试验仪的基本结构见图 D.1。



说明：

1——试样往复马达；
2——载荷；
3——加载标尺；
4——加载调节；
5——试样压块；
6——试样夹具；
7——试样；

8——磨轮；
9——试验台；
10——试样往复控制单元；
11——启动按钮；
12——停止按钮；
13——双行程计数器。

图 D.1 纸带轮磨试验仪的基本结构示意图

D.2 试验仪的夹具应能紧固试样，防止试样在试验过程中移动。同时夹具和压板应使试样保持水平。

D.3 研磨轮的直径为 $50\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ ，外缘宽度为 $12.0\text{ mm} \pm 0.1\text{ mm}$ 。一个 ds(双行程)后，研磨轮转动 0.9° ，400 ds 后，研磨轮转动一周。

D.4 传动装置应使双行程的相对速度在 $40\text{ ds/min} \pm 2\text{ ds/min}$ 的范围内，磨痕的长度在 $30.0\text{ mm} \pm 0.5\text{ mm}$ 的范围内。

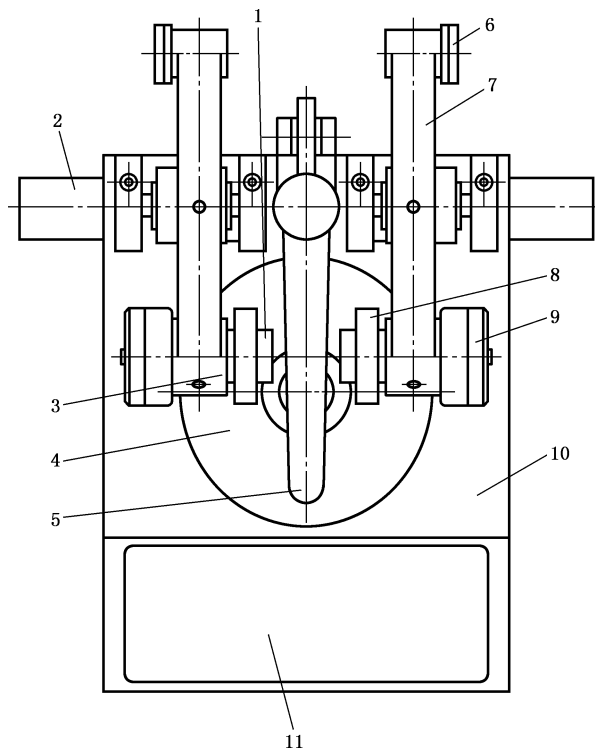
D.5 加载装置应使研磨轮和试样之间的力可调，且试验时接触力应在加载装置的量程范围内。

D.6 计数器能准确记录双行程的次数，当达到预定的双行程次数后能自动停机。

附 录 E
(资料性附录)
橡胶轮磨试验仪的要求

E.1 橡胶轮磨试验仪

E.1.1 基本结构示意图见 E.1。



说明：

- | | |
|-----------|-----------|
| 1——砂轮螺母； | 7——加压臂； |
| 2——吸尘器接口； | 8——橡胶砂轮； |
| 3——磨头； | 9——荷重砝码； |
| 4——转台； | 10——底座； |
| 5——吸尘嘴； | 11——控制面板。 |
| 6——平衡砝码； | |

图 E.1 橡胶轮磨试验仪基本结构示意图

E.1.2 试验仪带计数器,记录转台的循环(运转)次数。

E.1.3 试验仪带吸尘装置,有两个吸尘嘴。一个吸尘嘴位于两个砂轮之间,另一个则位于沿直径方向与第一个吸尘嘴呈相反的位置。两个吸尘嘴轴线之间的距离为 $75\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$,吸尘嘴与试板之间的距离为 $1\text{ mm} \sim 2\text{ mm}$ 。吸尘嘴定位后,吸尘装置中的气压应比大气压低 $1.5\text{ kPa} \sim 1.6\text{ kPa}$ 。

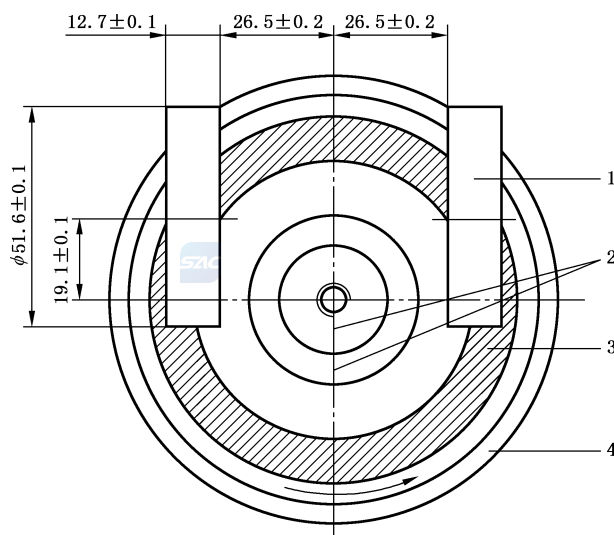
E.1.4 砝码,能使每个橡胶砂轮上的负载逐渐增加,最大为 1 kg 。

E.1.5 整新介质,以磨擦圆片的形式存在,用于整新橡胶砂轮。

E.2 试板安装要求

E.2.1 试板安装示意图见图 E.2。

单位为毫米



说明：

- 1——橡胶砂轮；
- 2——压紧装置(压紧片和压紧螺母)；
- 3——试板；
- 4——工作转盘。

图 E.2 试板安装示意图

E.2.2 工作转盘直径大于或等于 110 mm, 转速为 $60 \text{ r/min} \pm 2 \text{ r/min}$ 或 $70 \text{ r/min} \pm 2 \text{ r/min}$ 。

E.2.3 压紧装置的紧固件为 M6.5, 压板直径为 30 mm~50 mm。

E.2.4 橡胶砂轮厚为 $12.7 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$, 橡胶砂轮外径为 $51.6 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 。

E.2.5 橡胶砂轮在购买之日起 1 年内使用。

E.2.6 橡胶砂轮外径磨损至 44.4 mm 时应更换。

E.2.7 两橡胶砂轮对称安装, 内表面距离为 $53.0 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ 。E.2.8 橡胶砂轮在试板接触位与工作转盘中心的垂直距离为 $19.1 \text{ mm} \pm 0.1 \text{ mm}$ 。