

# 中华人民共和国国家标准

## 铝及铝合金阳极氧化 用轮式磨损试验仪 测定阳极氧化膜的耐磨性和磨损系数

GB/T 12967.2—91

Anodizing of aluminium and aluminium alloys—Measurement of wear  
resistance and wear index of anodic oxidation coatings  
with an abrasive wheel wear test apparatus

本标准等同采用国际标准 ISO 8251—1987《铝及铝合金阳极氧化 用轮式磨损试验仪测定阳极氧化膜的耐磨性和磨损系数》。

阳极氧化膜的耐磨性能与膜的质量及使用情况密切相关。而耐磨性能主要取决于金属成分、膜的厚度、阳极氧化条件和封孔条件。例如，当阳极氧化温度不正常升高时，它对氧化膜质量所产生的影响可通过磨损试验进行鉴别。所以说，耐磨性能是铝及铝合金阳极氧化膜的一个重要质量指标。

### 1 主题内容与适用范围

本标准规定了一个用轮式磨损试验仪测定铝及铝合金阳极氧化膜的耐磨性及磨损系数的试验方法。

本标准适用于阳极氧化膜的厚度不小于 5 μm 的板片状试样检验。对于阳极氧化膜的整个层厚以及表层、或任意选定的氧化膜的某一层都可以用本方法测定其耐磨性和磨损系数。

本标准不适用于试样表面凹凸不平的阳极氧化试样的测定。

### 2 引用标准

GB 4957 非磁性金属基体上非导电性覆盖层厚度的测定 涡流法

GB 8015.1 铝及铝合金阳极氧化膜厚度的试验方法 重量法

### 3 定义

应用本标准时使用下列定义。

- 3.1 标准试样 standard test specimen  
按附录 A 所给条件制备的试样。
- 3.2 协议参比试样 agreed reference specimen  
按供需双方所认可的条件制备的试样。
- 3.3 试样 test specimen  
待进行检验的样品。
- 3.4 双行程(ds) double stroke  
研磨轮所完成的一次完整的往复运动。

### 4 原理

阳极氧化试样应在下述条件下进行研磨：即碳化硅研磨纸带绕在轮的外缘，试样相对研磨纸带作往

国家技术监督局 1991-06-04 批准

1992-03-01 实施

复研磨运动。每完成一次往复运动〔双行程( $ds$ )〕后,研磨轮就转过一个小角度,并转来一个未用过的研磨带部位,这个新的研磨带部位继续与受检表面相接触。根据氧化膜厚度或质量的减少程度便可计算其耐磨性或磨损系数。所得结果应与特制的标准试样(见附录 A)或协议参比试样的试验结果相比较。

阳极氧化膜的总体耐磨性,可用分层检验法检验。其原理为:逐层磨损,一直研磨到裸露出金属基体为止。然后建立一个磨损的膜厚和双行程之间的关系图。

## 5 装置

### 5.1 轮式磨损试验仪

5.1.1 试验仪主要由紧固试样的夹具、压板及直径为 50 mm 的轮子组成。夹具、压板使试样保持水平和固定。轮子的外缘绕以 12 mm 宽的碳化硅纸带。轮子和试样之间的力是可变的,变化的范围为 0~4.9 N(500 gf),精度为 $\pm 0.05$  N。

5.1.2 研磨的方式有两种:一种用固定研磨轮,试样在水平方向作往复运动,轮子与试样表面之间保持水平接触;另一种是轮子作往复运动,试样是静止的,磨痕均应为 30 mm 长。

5.1.3 轮子相对滑动一个双行程后,便向前转过一个小角度,碳化硅纸带便转入一个新的表面。当下一个行程时,新的纸带面又和被研磨的表面相接触。400 次  $ds$  后,研磨轮转过一周,此时应更换新的碳化硅纸带。

5.1.4 双行程的相对速度为每分钟滑动  $40 \pm 2$  次。双行程的次数由计数器记录,当达到预定的双行程(最大为 400 次  $ds$ )之后应能自动停机。试样在研磨试验时,其表面应保持无粉末或磨屑。

### 5.2 研磨纸带

5.2.1 研磨纸带的宽为 12 mm,碳化硅的粒度为  $45 \mu\text{m}$ (320 目)。它的长度应刚好绕在研磨轮上,不能有接头。纸带可以粘上或用机械法固定。

### 5.3 涡流仪

5.3.1 检验过程中应采用探头直径不大于 12 mm 的涡流仪测厚,也可用重量损失法测厚。

## 6 试验步骤

### 6.1 普通硫酸阳极氧化膜的检验

#### 6.1.1 标准试样

按附录 A 所给条件制备的试样。

#### 6.1.2 试样

6.1.2.1 根据需求和可能,按照试验条款切取大小适宜的待检验样品。但不能损坏试样的检验表面。

6.1.2.2 试样的尺寸通常选择为  $l \times b$ , mm:  $50 \times 50$ (见 6.1.4 条)。

#### 6.1.3 仪器校正

6.1.3.1 选择好标准试样的待磨损面、并做上标记。按 GB 4957 所规定的方法,顺着试验面,用涡流仪测取三点以上的氧化膜厚度,并计算其平均值  $d_1$ 。

6.1.3.2 将标准试样固定在仪器的检测位置上。

6.1.3.3 在研磨轮的外缘上,绕上一圈新的碳化硅纸带。按仪器的使用说明,调节研磨轮,保证在规定的研磨宽度内、检验表面的磨损量均匀一致。研磨轮与检验表面之间的力应调到 3.92 N。

6.1.3.4 仪器应运行 400 次  $ds$ 。采用抽吸、吹风或用细软毛刷扫的方法。保持标准试样的检验面始终不留任何磨屑。

6.1.3.5 从仪器上取下标准试样,仔细清扫,去掉那些松散的氧化物,然后根据 6.1.3.1 条中的方法,测定检验面上的平均膜厚( $d_2$ )。

6.1.3.6 由于研磨轮的连续转动,在离检验面的研磨痕端点的 3 mm 处,常常为特别磨损的部位,因此在测量膜厚时应避开该部位。

6.1.3.7 按 6.1.3.1~6.1.3.5 条所规定的步骤,在标准试样的互不重叠的试验区上,至少再进行两次测量。

6.1.3.8 根据测得的平均值,计算标准试样的磨损率(见 6.3 条)。

#### 6.1.4 测量

6.1.4.1 将待检试样(6.1.2),按 6.1.3 条规定的程序进行检验。所用的研磨纸带应与校正时使用的纸带是同一批次的。

6.1.4.2 如果试样太薄,可将其牢牢地粘在一块平板金属的表面上,然后进行检验。待检试样的最小尺寸为  $l \times b$ , mm;  $50 \times 20$ 。

#### 6.2 着色阳极氧化膜或硬质阳极氧化膜的检验

6.2.1 按 6.1.3 条规定进行最初的试验。

6.2.2 如果试验面上的膜厚损失小于  $3 \mu\text{m}$ ,可以通过调节研磨条件,例如:增加研磨轮与试验表面之间的力;采取较粗的碳化硅纸带;增加双行程的次数等方法进行研磨。

6.2.3 除采用分层检验法以外(见 6.4 条),研磨条件应调节到运行 400 次  $d_s$  之后,膜厚的磨损厚度为  $5 \pm 3 \mu\text{m}$ 。

6.2.4 如果采用重量损失方法,应知道  $\pm 3 \mu\text{m}$  的等效质量。等效质量的计算方法可按 GB 8015.1 的规定进行。

6.2.5 按 7.5 条中的规定计算相对磨损率。

#### 6.3 相对磨损试验

##### 6.3.1 概述

检验阳极氧化膜的耐磨性能时,所采用的检验方法应由供需双方商定。检验结果应与标准试样或协议参比试样的结果相比较。相比方式通常采用相对厚度损失或相对质量损失。相对磨损率是以对协议参比试样的百分数来表示。

##### 6.3.2 相对厚度损失

6.3.2.1 按 6.1.3 条规定进行试验,然后测定试样与标准试样或协议参比试样上的厚度损失值。

6.3.2.2 按 7.3 条规定,计算相对磨损率。

##### 6.3.3 相对重量损失

6.3.3.1 选择好试样的磨损面并做上标记。称取试样重量( $m_1$ ),精确到  $0.0001 \text{ g}$ 。按 6.1.3.1~6.1.3.4 条所规定的步骤进行试验。

6.3.3.2 把试样从仪器上取下,刷掉表面上的松散氧化物,重新进行称量( $m_2$ ),精确到  $0.0001 \text{ g}$ 。

6.3.3.3 对试样的检验面,最少测量两次,但测点不能重复。

6.3.3.4 按 6.3.3.1~6.3.3.2 条的规定对标准试样或协议参比试样进行重复检验。并按 7.4 条的规定计算相对磨损率。

注:新裸露的氧化膜容易吸附水汽,表现在试样重量增加。因此在大气湿度变化时,会造成每次试验结果有一定误差。

#### 6.4 耐磨性的分层检验

##### 6.4.1 概述

在某些情况下,需要检验阳极氧化膜的沿厚度方向间每层的耐磨性能变化情况,因此必须采用分层检验法进行检验。

##### 6.4.2 检测

6.4.2.1 按 6.1.3.1 条的规定,测量膜的平均厚度。用定位装置把试样准确地固定在仪器的检验台上,使磨损试验确保在同一试验面上进行研磨。

6.4.2.2 按 6.1.3.3 和 6.1.3.4 条的规定,首次研磨只用 20~50 次双行程(视估计硬度而定)。取下试样,按 6.1.3.1 条的规定测量试验面上的平均膜厚。

6.4.2.3 准确地将试样重新安置在仪器上,按 6.4.2.2 所规定的步骤,再选用一定的双行程数研磨(参见注①)。以此类推,采用适宜的双行程数,一层一层地重复磨损与测取厚度,直到基底金属刚被裸露为止。

注:① 一种典型磨损试验的间隔条件为:50~100~200~400~800 和 1 200 次  $ds$ 。

② 试样的重新定位是一件困难的工作,甚至使人难以置信。但只要是在相邻的试验面上进行累加磨损次数的试验,便可达到相同的目的。因此,这种试验需要较长的时间。

6.4.2.4 对于所检测的氧化膜,计算膜厚和耐磨性变化的关系,以及计算耐磨系数和磨损系数。必要时,还可以绘制膜厚和双行程之间的关系图。

6.4.2.5 当需要时,分层检验的结果可与标准试样的结果对比。

## 7 结果表示

### 7.1 耐磨性

耐磨性  $WR$ ,用磨损每微米氧化膜所需的双行程次数来表示。计算公式如下:

$$WR = \frac{400}{d_1 - d_2} \dots\dots\dots(1)$$

式中:  $d_1$  —— 磨损前的平均厚度,  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.1 条);

$d_2$  —— 磨损 400 次  $ds$  后的平均厚度,  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.5 条)。

### 7.2 耐磨系数

耐磨系数用  $WRC$  表示,计算公式如下:

$$WRC = \frac{WRt}{WRs} = \frac{d_{1s} - d_{2s}}{d_{1t} - d_{2t}} \dots\dots\dots(2)$$

式中:  $WRt$  —— 试样的耐磨性,用每微米的双行程次数表示;

$WRs$  —— 标准试样的耐磨性,用每微米的双行程次数表示;

$d_{1s}$  —— 标准试样磨损前的平均膜厚,  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.1 条);

$d_{2s}$  —— 标准试样磨损 400 次  $ds$  后的平均厚度  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.5);

$d_{1t}$  —— 试样磨损前的平均膜厚,  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.1 条);

$d_{2t}$  —— 试样磨损 400 次  $ds$  后的平均膜厚,  $\mu\text{m}$ (见 6.1.3.5 条)。

注:耐磨系数是磨损系数的倒数,是衡量耐磨性能的尺度。系数大于 1 表示磨损程度小于标准试样,系数小于 1 表示磨损程度大于标准试样。

### 7.3 磨损系数

磨损系数用  $WI$  表示,计算公式如下:

$$WI = \frac{Wt}{Ws} = \frac{d_{1t} - d_{2t}}{d_{1s} - d_{2s}} \dots\dots\dots(3)$$

式中:  $Wt$  —— 试样的磨损率,  $\mu\text{m}/100 ds$ ;

$$Wt = \frac{d_{1t} - d_{2t}}{4}$$

$Ws$  —— 标准试样的磨损率,  $\mu\text{m}/100 ds$ ;

$$Ws = \frac{d_{1s} - d_{2s}}{4}$$

注:磨损系数是一个无量纲的比值,它是相对磨损率的一种表示法。其值大于 1 时表示磨损程度大于标准试样,其值小于 1 时表示磨损程度小于标准试样。

### 7.4 质量磨损系数

质量磨损系数用  $MWI$  表示,计算公式如下:

$$MWI = \frac{MWt}{MWs} = \frac{m_{1t} - m_{2t}}{m_{1s} - m_{2s}} \dots\dots\dots(4)$$

式中:  $MW_t$  —— 试样的质量磨损率,  $\text{mg}/100 \text{ ds}$ ;

$$MW_t = \frac{m_{1t} - m_{2t}}{4}$$

$MW_s$  —— 标准试样的质量磨损率,  $\text{mg}/100 \text{ ds}$ ;

$$MW_s = \frac{m_{1s} - m_{2s}}{4}$$

$m_{1t}$  —— 试样磨损前的平均质量,  $\text{mg}$ (见 6.3.3.1 条);

$m_{2t}$  —— 试样磨损 400 次  $\text{ds}$  后的平均质量,  $\text{mg}$ (见 6.3.3.2 条);

$m_{1s}$  —— 标准试样磨损前的平均质量  $\text{mg}$ (见 6.3.3.1 条);

$m_{2s}$  —— 标准试样磨损 400 次  $\text{ds}$  后的平均质量,  $\text{mg}$ (见 6.3.3.2 条)。

标准试样的质量磨损系数为 1。

注: 质量磨损系数是一个无量纲的比值, 它是相对磨损率的一种表示方法。其值大于 1 时表示磨损程度大于标准试样。其值小于 1 时表示磨损程度小于标准试样。

### 7.5 相对磨损率

$$CWR = \frac{W_a}{W_t} \times 100 = \frac{d_{1a} - d_{2a}}{d_{1t} - d_{2t}} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

式中:  $W_a$  —— 协议参比试样的磨损率,  $\mu\text{m}/100 \text{ ds}$ ;

$$W_a = \frac{d_{1a} - d_{2a}}{4}$$

$W_t$  —— 试样的磨损率,  $\mu\text{m}/100 \text{ ds}$ ;

$$W_t = \frac{d_{1t} - d_{2t}}{4}$$

$d_{1a}$  —— 协议参比试样磨损前的平均膜厚,  $\mu\text{m}$ ;

$d_{2a}$  —— 协议参比试样磨损 400 次  $\text{ds}$  后的平均膜厚,  $\mu\text{m}$ 。

### 7.6 相对质量磨损率

相对质量磨损率  $CWR_m$  用百分数来表示, 计算公式如下:

$$CWR_m = \frac{MW_a}{MW_t} \times 100 = \frac{m_{1a} - m_{2a}}{m_{1t} - m_{2t}} \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

式中:  $MW_a$  —— 协议参比试样的质量磨损率,  $\text{mg}/100 \text{ ds}$ ;

$$MW_a = \frac{m_{1a} - m_{2a}}{4}$$

$m_{1a}$  —— 协议参比试样磨损前的平均质量,  $\text{mg}$ (6.3.3.1 条);

$m_{2a}$  —— 协议参比试样磨损 400 次  $\text{ds}$  后的平均质量,  $\text{mg}$ (见 6.3.3.2 条)。

## 8 试验报告

试验报告应包括下列内容:

- a. 试样及协议参比试样的选取;
- b. 本标准号;
- c. 注明所采用的特殊仪器;
- d. 研磨轮与检验面之间的力以及所采用的研磨介质;
- e. 试验点数以及试样表面的检测位置;
- f. 根据需要, 计算耐磨性、耐磨系数、磨损系数、质量磨损系数、相对磨损率或相对质量磨损率;
- g. 记录有关的试验过程, 试样和试验面的特性。

**附录 A**  
**标准试样的制备**  
(参考件)

**A1** 耐磨试验用的标准试样应采用抛光铝板或光亮压延铝板来制备。

**A2** 条件

铝牌号: A1 99.5(13);

硬化状态: Y2;

标样尺寸: 140 mm×70 mm;

标样厚度: 1.0~1.6 mm。

**A3** 脱脂处理后, 还可用化学或电化学法进行抛光。

**A4** 氧化槽液成分

硫酸浓度: 180±2 g/L;

铝离子浓度: 5~10 g/L;

其余: 水。

**A5** 阳极氧化条件

温度: 20±0.5℃;

电流密度: 1.5±0.1 A/dm<sup>2</sup>;

搅拌方式: 压缩空气;

时间: 45 min;

膜厚: 20±2 μm;

封闭要求: 在每升含有 1 g 醋酸铵的去离子水中(pH 为 5.5~6.5), 于沸腾情况下封孔 60 min。

**A6** 标准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%。每次氧化的标准试样不超过 20 块, 电解液的体积为每个试样不少于 10 L。

注: ① 严格控制阳极氧化条件时, 可以制取非常精确的试样, 并且还具有较好的重现性。

② 采用本附录 A 的规定, 标准试样的偏差为±10%。

**附加说明:**

本标准由中国有色金属工业总公司提出。

本标准由东北轻合金加工厂负责起草。

本标准主要起草人高亢之、王子毅。