

# 团体标准

T/HNNMIA XX—2020

## 金属材料 滑动载流摩擦磨损测试方法

Test Method for Sliding Current-Carrying Friction and Wear of Metal  
(征求意见稿)

2020-XX-XX 发布

2021-XX-XX 实施

河南省有色金属行业协会 发布



# 目 次

目 次 .....	I
前 言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 方法原理 .....	1
4 试样要求 .....	2
5 术语和定义 .....	2
5.1 接触压力 .....	2
5.2 线速度 .....	2
5.3 电流密度 .....	3
5.4 载流滑动距离 .....	3
5.5 平均载流摩擦系数 .....	3
5.6 载流摩擦系数波动性 .....	3
5.7 载流磨损率 .....	3
5.8 电流波动性 .....	4
5.9 燃弧率 .....	4
5.10 电弧能 .....	4
6 测试过程 .....	4
7 测试报告 .....	5
附录 A .....	6

# 前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准的结构和编写》给出的规则编制。

本文件由河南省有色金属行业协会提出。

本文件由河南省有色金属行业协会归口。

本文件主要起草单位：河南科技大学、中国科学院兰州化学物理研究所、许昌开普检测研究院股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司

本文件主要起草人：张永振、宋晨飞、宋克兴、贺春、张燕燕、杨军、杜三明、李鹏、国秀花、李韶林、杨正海、程楚、周延军、刘海涛、王要利

本文件为首次发布。

# 金属材料滑动载流摩擦磨损测试方法

## 1 范围

本文件规定了金属材料的滑动载流摩擦磨损测试方法原理、试样要求、术语和定义、测试过程和测试报告。

本文件适用于金属材料滑动载流摩擦磨损的测试。

## 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 1031—2009 表面粗糙度参数及其数值

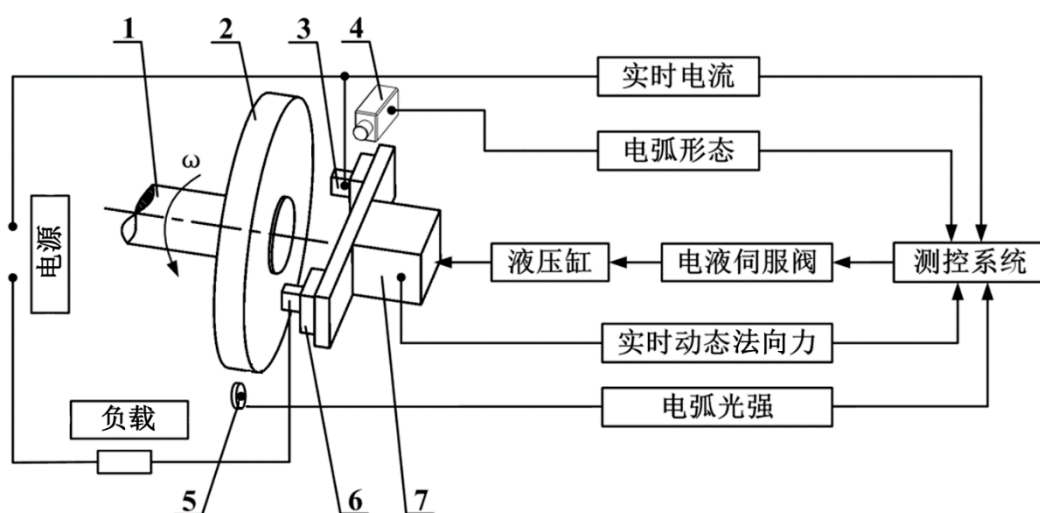
GB/T 12444—2006 金属材料磨损试验方法试环-试块滑动磨损试验

GB/T 17754—2012 摩擦学术语

GB/T 2040—2008 铜及铜合金板材

GB/T 3960—2016 塑料 滑动摩擦磨损试验方法

## 3 方法原理



标引序号说明：

- 1——旋转主轴
- 2——盘试样
- 3——销试样
- 4——高速相机
- 5——光敏元件
- 6——夹具
- 7——法向力传感器

图1 测试方法原理

本文件测试方法采用滑动载流摩擦试验机，测试方法的基本原理见图1。销试样装卡在导电卡具中，盘试样由旋转主轴驱动且两者绝缘，两个销试样和一个盘试样构成滑动载流摩擦副。销试样和盘试样间的正压力由电液伺服阀和液压缸施加，实时动态法向力由法向力传感器测得。试验过程中的电弧形态和电弧光强分别由高速相机和光敏元件测试。实时电流、电弧形态、实时动态法向力、摩擦系数等数据均同步采集。

#### 4 试样要求

被测金属材料可加工为销试样，也可加工为盘试样，相应的对磨试样需加工为盘试样或销试样。两个销试样和一个盘试样构成销盘载流摩擦副，见图2。销试样和盘试样接触位置的粗糙度  $R_a$  均为  $0.8\ \mu\text{m}$ 。

本文件宜使用的试样尺寸为：销试样高 20 mm，长为 14 mm，宽为 9 mm， $14\ \text{mm}\times 9\ \text{mm}$  的底面为接触面。盘试样直径 180 mm，厚度不低于 25 mm。盘试样可重复使用，但每次试验前均需进行打磨，去除前次试验痕迹，并使粗糙度  $R_a$  达到  $0.8\ \mu\text{m}$ 。

可根据实际需求，加工制备其他尺寸的销盘摩擦副。

试验前，需通过分析天平称重获得被测试样的质量，精度为 0.1 mg。

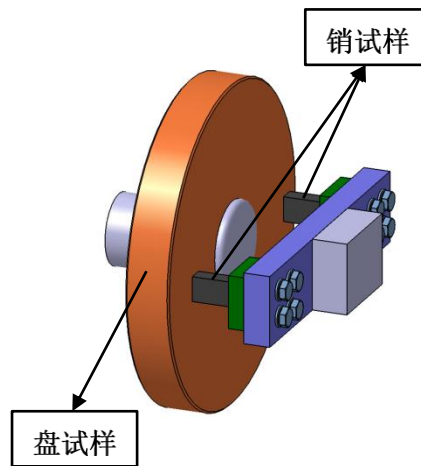


图2 销盘载流摩擦副示意图

#### 5 术语和定义

##### 5.1 接触压力 contact pressure

$P$

$$P = \frac{N}{S} \quad (1)$$

式中：

$N$  —— 销试样和盘试样间的法向力；

$S$  —— 接触面积。

##### 5.2 线速度 liner velocity

$v$

销试样中心位置相对于盘试样接触区的线速度，

$$v = 2\pi L\omega \quad (2)$$

式中：

$L$  —— 销试样中心位置至盘试样中心位置的距离；

$\omega$  —— 试验机主轴单位时间内的旋转转数。

### 5.3 电流密度 current density

$\rho$

单位接触面积传导的电流，

$$\rho = \frac{I}{S} \quad (3)$$

式中：

$I$  —— 通过接触面的电流值；

$S$  —— 接触面积。

### 5.4 载流滑动距离 current-carrying sliding distance

$s$

$$s = vt_c \quad (4)$$

式中：

$v$  —— 线速度；

$t_c$  —— 载流试验时间。

### 5.5 平均载流摩擦系数 average current-carrying friction coefficient

$\bar{\mu}$

$$\bar{\mu} = \frac{\bar{T}}{NL} \quad (5)$$

式中：

$\bar{T}$  —— 载流试验时间内的扭矩平均值；

$\bar{N}$  —— 载流试验时间内实测法向力的平均值；

$L$  —— 销试样中心位置至盘试样中心位置的距离。

### 5.6 载流摩擦系数波动性 fluctuation of current-carrying friction coefficient

$\delta_\mu$

$$\delta_\mu = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\mu_i - \bar{\mu})^2}}{\bar{\mu}} \times 100\% \quad (6)$$

式中：

$n$  —— 载流试验时间内采集到数据的总个数。

$i$  —— 数据的序号；

$\mu_i$  —— 载流试验时间内第  $i$  个摩擦系数；

$\bar{\mu}$  —— 平均载流摩擦系数。

### 5.7 载流磨损率 current-carrying wear rate

$w$

$$w = \frac{\Delta w}{s} \quad (7)$$

式中：

$\Delta w$  —— 载流试验中被测试样的质量损失；

$s$  —— 载流滑动距离。

## 5.8 电流波动性 fluctuation of current

$\delta_i$

$$\delta_i = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}}{\bar{I}} \times 100\% \quad (8)$$

式中:

$n$  —— 载流试验时间内采集到数据的总个数。

$i$  —— 数据的序号;

$I_i$  —— 载流试验时间内第  $i$  个电流值;

$\bar{I}$  —— 载流试验时间内的平均电流。

## 5.9 燃弧率 arcing rate

$\sigma$

$$\sigma = \frac{t}{t_c} \times 100\% \quad (9)$$

式中:

$t$  —— 载流试验时间内总燃弧时间;

$t_c$  —— 载流试验时间。

## 5.10 电弧能 arc energy

$E$

$$E = \sum_{i=1}^n (U_i I_i \Delta t_i) \quad (10)$$

式中:

$n$  —— 载流试验时间内采集到数据的总个数。

$i$  —— 数据的序号;

$U_i$  —— 第  $i$  次电弧放电时销盘试样间的实测电压;

$I_i$  —— 第  $i$  次电弧放电时流经销盘试样的电流;

$\Delta t_i$  —— 第  $i$  次电弧放电时长。

## 6 测试过程

6.1 除对环境有特殊指定要求外, 测试时室温为  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$ , 相对湿度为  $(50 \pm 5)\%$ , 无振动、无粉尘、无腐蚀性气体。

6.2 使用载流摩擦试验机, 设置法向力  $N$ 、主轴转速  $\omega$  和电流  $I$ , 达到所需的接触压力  $P$ 、线速度  $v$  和电流密度  $\rho$ 。设置载流试验时间  $t_c$ , 销试样相对盘试样的载流滑动距离  $s$  不低于 1000 m。电流密度、接触压力与电流、法向力的换算关系参考附录 A。

6.3 启动试验机, 主轴转速  $\omega$  达到设定值后, 再开始加载使法向力  $N$  并在规定时间  $t_m$  内达到设定值, 然后通入设定的电流值  $I$ 。载流试验时间开始计时。

6.4 通入设定电流值时高速影像同步启动, 高速相机采样频率不低于 2000 Hz。

6.5 达到载流试验时间  $t_c$ , 试验机自动停止旋转和输出电流, 同时销盘脱离接触; 待试验机完全停止后



取下试样。

6.6 通过分析天平称重获得试验后试样的质量，精度为 0.1 mg。试验前后试样质量差值记为  $\Delta w_1$ 。

6.7 安装同批次样品，设置相同的法向力  $N$ 、主轴转速  $\omega$ ，电流设为 0 A，载流试验时间  $t_c$  设为 0 s，重复（6.3 ~ 6.6）的过程。试验前后试样质量差值记为  $\Delta w_2$ 。试样载流磨损量  $\Delta w = \Delta w_1 - \Delta w_2$ 。

6.8 测试结果需要经 3 次以上重复试验验证。测试偏差与执行标准的严格程度有关，同种材料测试的一致性与材料均匀性、设备维护状态、测试人员的技术密切相关。

## 7 测试报告

测试报告至少包括：

- a) 环境温度、湿度；
- b) 试验机型号；
- c) 试样名称及试样尺寸；
- d) 载荷、主轴转速和电流数值，对应的接触压力、线速度、电流密度和载流滑动距离；平均载流摩擦系数、载流摩擦系数波动性、载流磨损率、电流波动性、燃弧率、电弧能；
- e) 载流试验过程中电弧的高速影像。

附录 A

表 A1 电流密度、接触压力与电流、法向力的换算表

电流密度 $\rho$ A/mm <sup>2</sup>	电流 $I$ A	接触压力 $P$ MPa	法向力 $N$ N
0.1	12.7	0.05	6.3
0.2	25.3	0.10	12.7
0.3	38.0	0.15	19.0
0.4	50.6	0.20	25.3
0.5	63.3	0.25	31.6
0.6	75.9	0.30	38.0
0.7	88.6	0.35	44.3
0.8	101.3	0.40	50.6
0.9	113.9	0.45	57.0
1.0	126.6	0.50	63.3
1.1	139.2	0.55	69.6
1.2	151.9	0.60	75.9
1.3	164.6	0.65	82.3
1.4	177.2	0.70	88.6
1.5	189.9	0.75	94.9
1.6	202.5	0.80	101.3
1.7	215.2	0.85	107.6
1.8	227.8	0.90	113.9
1.9	240.5	0.95	120.3
2.0	253.2	1.00	126.6
注 1: 附录 A 适用的销试样接触面长 14 mm, 宽 9 mm			
注 2: 使用其他尺寸销试样时, 换算方法参考术语和定义			