

## 中华人民共和国有色金属行业标准

YS/T 478—2005

---

### 铜及铜合金导电率涡流检测方法

The method for electrical conductivity  
measurement of copper and copper alloys by use of eddy current

2005-05-18 发布

2005-12-01 实施

---

国家发展和改革委员会 发布

## 前 言

本标准是首次制定。

本标准规定了铜及铜合金导电率的涡流检测方法。

本标准的附录 A、附录 B 为资料性附录。

本标准是铜及铜合金导电率的快速检测方法,与 GB/T 351—1995《金属材料电阻系数测定方法》并行使用;仲裁检测执行 GB/T 351—1995。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会提出并归口。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会负责解释。

本标准由洛阳铜加工集团有限责任公司负责起草。

本标准主要验证单位:沈阳有色金属加工厂、西北铜加工厂、江西弋阳江冶有色加工厂、湖北十堰益民铜材有限公司。

本标准主要起草人:董福伟、李湘海、路俊攀、张敬华、孟惠娟、蒋长乐。

本标准主要验证人:赵军、张兵、柴光洋、黄建斌。

# 铜及铜合金导电率涡流检测方法

## 1 范围

本标准规定了涡流法检测铜及铜合金导电率的原理、检测要求和操作方法等内容。

本标准适用于用涡流导电仪进行铜及铜合金导电率的快速检测。

## 2 方法原理

当载有交变电流的线圈(也称探头)接近导电材料表面时,由于线圈交变磁场的作用,在材料表面和近表面感应出旋涡状电流称为涡流。材料中的涡流又产生自己的磁场反作用于线圈,这种反作用的大小与材料表面和近表面的导电率有关。通过涡流导电仪可直接检测出非铁磁性导电材料的导电率。

## 3 术语

### 3.1

**体积电阻率(电阻系数) volume specific resistance(resistivity)**

单位横截面积、单位长度金属导体的电阻值称为体积电阻率(简称电阻率),也称电阻系数,用符号  $\rho$  表示,单位为欧姆·毫米<sup>2</sup>/米( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

体积电阻率的倒数称为体积电导率(简称电导率),也称电导系数,用符号  $\sigma$  表示,单位为兆西门子/米(MS/m)。

### 3.2

**导电率 conductivity**

试样电导率与某一标准值的比值的百分数称为该试样的导电率。

1913年,国际退火铜标准确定:采用密度为  $8.89 \text{ g/cm}^3$ 、长度为  $1 \text{ m}$ 、重量为  $1 \text{ g}$ 、电阻为  $0.15328$  欧姆的退火铜线作为测量标准。在  $20^\circ\text{C}$  温度下,上述退火铜线的电阻系数为  $0.017241 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ (或电导率为  $58.0 \text{ MS/m}$ )时确定为  $100\%$ IACS(国际退火铜标准),其他任何材料的导电率(%IACS)可用下式进行计算:

$$\text{导电率}(\% \text{IACS}) = 0.017241/\rho \times 100\%$$

或:

$$\text{导电率}(\% \text{IACS}) = \sigma/58.0 \times 100\%$$

导电率、电导率、电阻系数三者之间的对应关系见附录 A。

### 3.3

**标准渗透深度 standard depth of penetration**

在涡流检测中,涡流密度降至试样表面涡流密度的  $1/e$ (约  $37\%$ )时的深度称为标准渗透深度。标准渗透深度的计算公式为:

$$\delta = 503.3 \sqrt{\rho/\mu f}$$

式中:  $\delta$ ——标准渗透深度,单位为毫米(mm);

$\rho$ ——被检测试样的电阻系数,单位为欧姆·毫米<sup>2</sup>/米( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$f$ ——检测频率,单位为赫兹(Hz);

$\mu_r$ ——被检测试样的相对磁导率,对于非铁磁性材料, $\mu_r$  近似为  $1$ ,无量纲。

注：“e”为一数学常数，为无量纲无理数， $e=2.718281459045\cdots$

### 3.4

#### 有效渗透深度 effective depth of penetration

根据选用的频率相对应的能测出厚度方向质量信息的最大深度。通常以涡流密度降到表面涡流密度的5%时的深度为有效渗透深度，其值为 $3\delta$ 。

被检测试样的最小厚度必须大于或等于其有效渗透深度。不同导电率的试样，采用不同检测频率时所对应的标准渗透深度以及最小取样厚度见附录B。

### 3.5

#### 边缘效应 edge effect

在涡流检测中，由于试件几何形状突变而产生的磁场和涡流变化。

## 4 检测要求

### 4.1 仪器

4.1.1 检测用涡流导电仪应具备以下要求：

- a) 导电仪的检测范围：被检测样的导电率值必须包含于导电仪的检测范围之内。
- b) 检测精度： $\pm 1.0\%$ IACS。

4.1.2 探头表面应清洁、无污物、无划伤。

### 4.2 标准试块

4.2.1 标准试块应配备两块。一块为高值标准试块，一块为低值标准试块。高低值标准块由仪器生产厂家提供。

4.2.2 标准试块表面应清洁、无污物、无划伤。

### 4.3 试样

4.3.1 试样材质应均匀、无铁磁性。

4.3.2 检测面应为平面，表面粗糙度  $Ra$  不大于  $6.3\ \mu\text{m}$ 。检测面应光滑、清洁，无氧化皮、油漆、腐蚀斑、灰尘和镀层等。

4.3.3 试样尺寸必须大于探头直径的2倍。

4.3.4 试样厚度应不小于有效渗透深度。当厚度小于有效渗透深度时，可多层叠加后再进行导电率检测。叠加后的试样总层厚度应不小于有效渗透深度，但叠加层数不能多于三层。叠加时，各层间必须紧密贴合，且能互换检测。

### 4.4 环境

4.4.1 涡流导电仪、标准试块应在无腐蚀、无磁场干扰的环境中保存和使用，避免仪器和探头受到振动和碰撞。

4.4.2 检测的环境温度应保持在  $20^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$  范围内，并且探头、仪器、标准试块和试样的温度应达到一致。

## 5 操作方法

5.1 接通电源，打开仪器，对仪器进行校准。仪器连续工作时，应每隔 15 min 校准一次。

5.2 探头应平稳地置于试样表面的检测部位上，探头表面与检测面平行紧贴。使用无电磁屏蔽的仪器时，探头必须离检测面边缘 5 mm 以上。

5.3 每个试样至少选择 3 个检测部位进行检测，取其算术平均值作为最终检测结果。

## 6 精密度

### 6.1 重复性条款

在重复性条件下获得的两次独立检测结果的绝对差值不能超过重复性限( $r$ ),  $r$ (%IACS)值取0.65;超过重复性限的情况不超过5%。

### 6.2 再现性条款

在再现性条件下获得的两次独立检测结果的绝对差值不能超过再现性限( $R$ ),  $R$ (%IACS)值取0.85;超过再现性限的情况不超过5%。

## 附 录 A

(资料性附录)

导电率、电导率与电阻系数之间的对应关系

导电率/%IACS	电导率/(MS/m)	电阻系数/( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )
102	59.16	0.016 903
101	58.58	0.017 070
100	58.00	0.017 241
99	57.42	0.017 415
98	56.84	0.017 593
97	56.26	0.017 774
96	55.68	0.017 959
95	55.10	0.018 148
94	54.52	0.018 341
93	53.94	0.018 539
92	53.36	0.018 740
91	52.78	0.018 946
90	52.20	0.019 157
85	49.30	0.020 284
80	46.40	0.021 551
75	43.50	0.022 988
70	40.60	0.024 630
65	37.70	0.026 525
60	34.80	0.028 735
55	31.90	0.031 347
50	29.00	0.034 482
45	26.10	0.038 313
40	23.20	0.043 103
35	20.30	0.049 260
30	17.40	0.057 470
25	14.50	0.068 964
20	11.60	0.086 205
15	8.70	0.114 940
10	5.80	0.172 410
5	2.90	0.344 820

附 录 B  
(资料性附录)

不同导电率的试样采用不同频率检测时所对应的标准渗透深度及最小试样厚度

导电率 %IACS	标准渗透深度/mm				试样最小厚度/mm			
	480 kHz	240 kHz	120 kHz	60 kHz	480 kHz	240 kHz	120 kHz	60 kHz
102	0.094	0.133	0.188	0.266	0.282	0.399	0.564	0.798
100	0.095	0.134	0.190	0.268	0.285	0.402	0.570	0.804
95	0.097	0.138	0.194	0.276	0.291	0.414	0.582	0.828
90	0.100	0.141	0.200	0.282	0.300	0.423	0.600	0.846
85	0.103	0.145	0.206	0.290	0.309	0.435	0.618	0.870
80	0.106	0.150	0.212	0.300	0.318	0.450	0.636	0.900
75	0.109	0.155	0.218	0.310	0.327	0.465	0.654	0.930
70	0.113	0.160	0.226	0.320	0.339	0.480	0.678	0.960
65	0.118	0.166	0.236	0.332	0.354	0.498	0.708	0.996
60	0.122	0.173	0.244	0.346	0.366	0.519	0.732	1.038
55	0.128	0.181	0.256	0.362	0.384	0.543	0.768	1.086
50	0.134	0.190	0.268	0.380	0.402	0.570	0.804	1.140
45	0.141	0.200	0.282	0.400	0.423	0.600	0.846	1.200
40	0.150	0.212	0.300	0.424	0.450	0.636	0.900	1.272
35	0.160	0.226	0.320	0.452	0.480	0.678	0.960	1.356
30	0.173	0.244	0.346	0.488	0.519	0.732	1.038	1.464
25	0.190	0.268	0.380	0.540	0.570	0.804	1.140	1.620
20	0.212	0.300	0.424	0.600	0.636	0.900	1.272	1.800
15	0.244	0.346	0.488	0.692	0.732	1.038	1.464	2.076
10	0.300	0.424	0.600	0.848	0.900	1.272	1.800	2.544
5	0.424	0.600	0.848	1.200	1.272	1.800	2.544	3.600