



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 32791—2016

## 铜及铜合金导电率涡流测试方法

Electromagnetic (eddy-current) examination method for  
electrical conductivity of copper and copper alloys

2016-08-29 发布

2017-07-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中国有色金属工业协会提出。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本标准起草单位：中铝洛阳铜业有限公司、佛山市华鸿铜管有限公司、安徽鑫科新材料股份有限公司、国家铜铝冶炼及加工产品质量监督检验中心、宁波兴业盛泰集团有限公司、安徽楚江科技新材料股份有限公司、太原晋西春雷铜业有限公司、苏州有色金属研究院有限公司。

本标准主要起草人：李湘海、林国良、娄东阁、王士东、韩逸、贾志军、顾凤仙、葛小牛、茆耀东、高育红、苑和锋、汪东亚、梅桂林、胡勇、昌芬、郑小英。

# 铜及铜合金导电率涡流测试方法

## 1 范围

本标准规定了涡流法测试铜及铜合金导电率的方法原理、术语和定义、测试要求、操作方法和测试报告。

本标准适用于用涡流导电仪对不含铁磁性的铜及铜合金材料或产品进行导电率测试。

## 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 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

### 3.1

**体积电阻率** volume specific resistance

电阻系数 resistivity

$\rho$

单位横截面积、单位长度金属导体的电阻值(简称电阻率),单位为欧姆平方毫米每米( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ )。

### 3.2

**体积电导率** volume electric conductivity

电导系数 conductance

$\sigma$

体积电阻率的倒数(简称电导率),单位为兆西门子每米(MS/m)。

### 3.3

**导电率** conductivity

试样电导率与某一标准值的比值的百分数。

注:导电率、电导率与电阻系数之间的对应关系参见附录 A。

### 3.4

**涡流** electromagnetic (eddy-current)

由于外磁场有时间和空间上的变化而在导电材料表面及近表面产生的感应电流。

### 3.5

**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。标准渗透深度的计算见式(1):

$$\delta = 503.3 \sqrt{\rho / (\mu_r \cdot f)} \quad \dots\dots\dots (1)$$

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,单位为欧姆平方毫米每米( $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ );

$f$  ——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。

### 3.6

#### 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,其值约为  $3\delta$ 。

### 3.7

#### 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。

### 3.8

#### 提离效应 lift-off effect

涡流检测线圈与被检试件之间的距离改变时,其阻抗矢量产生变化的效应。

### 3.9

#### 提离抑制性 suppression of lift-off

仪器消除或减小探头与试件间微小间隙影响的能力。

### 3.10

#### 测量精度 accuracy

在给定的条件下涡流导电仪测试标准试块所获得的导电率测量值与标准试块导电率标准值之间的差异。

### 3.11

#### 仪器稳定性 stability of instrument

仪器测量指示值在一定时间间隔内的变化情况。

## 4 测试要求

### 4.1 仪器

4.1.1 涡流导电仪的测试频率一般在 50 kHz~1 000 kHz 之间,本标准优选 60 kHz 和 120 kHz。

注:对于薄规格板带材或试件应选择更高的测试频率。

4.1.2 涡流导电仪的测试范围应不小于 4% IACS~103% IACS。

4.1.3 涡流导电仪的测量精度应为  $\pm 1\%$  IACS。

4.1.4 涡流导电仪应定期检定或校准,合格后方可使用。

### 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,其导电率值约为 100% IACS,一块为低值标准试块,其导电率值约为 5% IACS。

4.2.2 标准试块的表面粗糙度  $R_a$  不大于  $3.2 \mu\text{m}$ ,且表面应清洁、无锈蚀、无划伤。

### 4.3 试样

4.3.1 试样材质应均匀、无铁磁性。

4.3.2 试样检测面应为平面,表面粗糙度  $R_a$  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 使用带有消除边缘效应功能的涡流导电仪进行导电率测试时,试样测试平面的面积应大于探头的面积。使用没有消除边缘效应功能的涡流导电仪进行导电率测试时,试样测试平面的面积应大于探头面积的两倍。

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测试。叠加后的试样总厚度应不小于有效渗透深度,但叠加层数不能多于3层。叠加时,各层间必须紧密贴合,各层间无间隙、且能互换测试。

4.3.5 应尽量采用试样原始表面进行导电率测试,如确需进行表面处理,应确保试样表面不产生加工硬化。

4.3.6 被检试样的最小厚度应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参见附录B。

#### 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 测试的环境温度应保持在 $20\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,并且探头、仪器、标准试块和试样的温度应达到一致。具有温度补偿功能的仪器,可在仪器补偿温度允许范围内的环境温度下进行导电率测试。

### 5 操作方法

5.1 接通电源,打开仪器,用高、低值标准试块对仪器进行校准。仪器连续工作时,应每隔2 h校准一次。

5.2 根据试样大小、形状及测试面的状态,每个试样至少选择3个测试部位进行导电率测试,取其算术平均值作为最终测试结果。

5.3 对于厚度不一致的试样,其最厚处和最薄处为必测点;对于板材试样应在中心处和接近边角处等有代表性部位进行测试;对于棒材和管材类试样,应在其表面轴向不同周向位置上按适当间距分布进行测试;对于型材试样,应在不同型面上按适当间距分布进行测试。

5.4 测试时探头应平稳地置于试样表面的测试部位上,探头表面与测试面平行紧贴。使用无电磁屏蔽的仪器时,探头必须离测试面边缘3 mm以上。

### 6 测试报告

测试报告应包括以下内容:

- a) 试样牌号、批号、编号、规格、状态等;
- b) 本标准编号;
- c) 使用仪器型号、编号;
- d) 测试的环境温度;
- e) 试验结果;
- f) 试验日期;
- g) 检测人员和审核人员。

## 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

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 $1\text{ m}$ 、质量为 $1\text{ g}$ 、电阻为 $0.153\ 28\ \Omega$ 的退火铜线作为测量标准。在 $20\text{ }^\circ\text{C}$ 温度下,上述退火铜线的电阻系数为 $0.017\ 241\ \Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ (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)可用式(A.1)和式(A.2)进行计算:

$$\text{导电率}(\% \text{IACS}) = 0.017\ 241 / \rho \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.1})$$

$$\text{导电率}(\% \text{IACS}) = \sigma / 58.0 \times 100\% \quad \dots\dots\dots (\text{A.2})$$

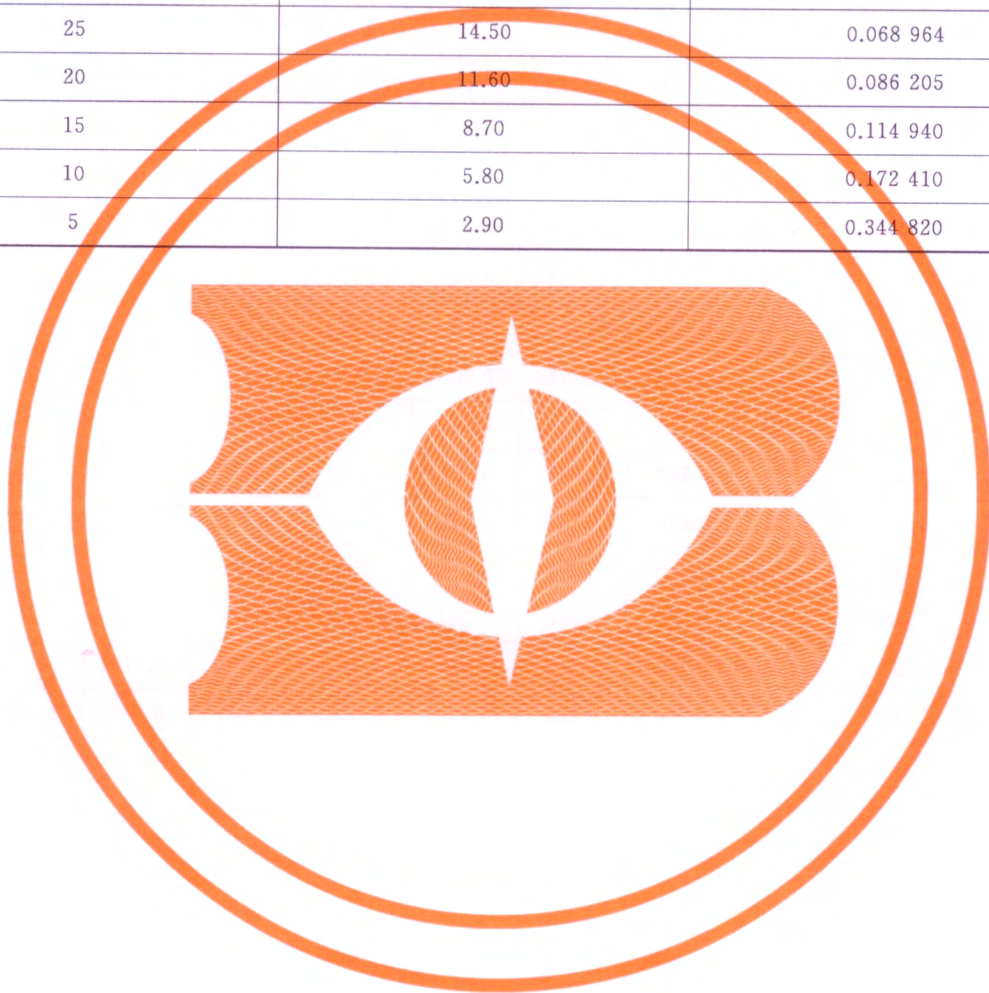
导电率、电导率、电阻系数三者之间的对应关系见表 A.1。

表 A.1 导电率、电导率与电阻系数之间的对应关系

| 导电率<br>%IACS | 电导率<br>MS/m | 电阻系数<br>$\Omega\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ |
|--------------|-------------|---|
| 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                                 |

表 A.1 (续)

| 导电率<br>%IACS | 电导率<br>MS/m | 电阻系数<br>$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ |
|--------------|-------------|---|
| 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测试时所对应的标准渗透深度及最小试样厚度

不同导电率的试样采用不同频率测试时所对应的标准渗透深度及最小试样厚度见表 B.1。

**表 B.1 不同导电率的试样采用不同频率测试时所对应的标准渗透深度及最小试样厚度**

| 导电率<br>%IACS | 标准渗透深度/mm |         |         |         |        | 试样最小厚度/mm |         |         |         |        |
|--------------|-----------|---------|---------|---------|--------|-----------|---------|---------|---------|--------|
|              | 960 kHz   | 480 kHz | 240 kHz | 120 kHz | 60 kHz | 960 kHz   | 480 kHz | 240 kHz | 120 kHz | 60 kHz |
| 102          | 0.066 5   | 0.094   | 0.133   | 0.188   | 0.266  | 0.200     | 0.282   | 0.399   | 0.564   | 0.798  |
| 100          | 0.067     | 0.095   | 0.134   | 0.190   | 0.268  | 0.201     | 0.285   | 0.402   | 0.570   | 0.804  |
| 95           | 0.069     | 0.097   | 0.138   | 0.194   | 0.276  | 0.207     | 0.291   | 0.414   | 0.582   | 0.828  |
| 90           | 0.070 5   | 0.100   | 0.141   | 0.200   | 0.282  | 0.211 5   | 0.300   | 0.423   | 0.600   | 0.846  |
| 85           | 0.072 5   | 0.103   | 0.145   | 0.206   | 0.290  | 0.217 5   | 0.309   | 0.435   | 0.618   | 0.870  |
| 80           | 0.075     | 0.106   | 0.150   | 0.212   | 0.300  | 0.225     | 0.318   | 0.450   | 0.636   | 0.900  |
| 75           | 0.077 5   | 0.109   | 0.155   | 0.218   | 0.310  | 0.232 5   | 0.327   | 0.465   | 0.654   | 0.930  |
| 70           | 0.080     | 0.113   | 0.160   | 0.226   | 0.320  | 0.240     | 0.339   | 0.480   | 0.678   | 0.960  |
| 65           | 0.083     | 0.118   | 0.166   | 0.236   | 0.332  | 0.249     | 0.354   | 0.498   | 0.708   | 0.996  |
| 60           | 0.086 5   | 0.122   | 0.173   | 0.244   | 0.346  | 0.259 5   | 0.366   | 0.519   | 0.732   | 1.038  |
| 55           | 0.090 5   | 0.128   | 0.181   | 0.256   | 0.362  | 0.271 5   | 0.384   | 0.543   | 0.768   | 1.086  |
| 50           | 0.095 0   | 0.134   | 0.190   | 0.268   | 0.380  | 0.285     | 0.402   | 0.570   | 0.804   | 1.140  |
| 45           | 0.100     | 0.141   | 0.200   | 0.282   | 0.400  | 0.300     | 0.423   | 0.600   | 0.846   | 1.200  |
| 40           | 0.105     | 0.150   | 0.212   | 0.300   | 0.424  | 0.315     | 0.450   | 0.636   | 0.900   | 1.272  |
| 35           | 0.113     | 0.160   | 0.226   | 0.320   | 0.452  | 0.339     | 0.480   | 0.678   | 0.960   | 1.356  |
| 30           | 0.122     | 0.173   | 0.244   | 0.346   | 0.488  | 0.366     | 0.519   | 0.732   | 1.038   | 1.464  |
| 25           | 0.134     | 0.190   | 0.268   | 0.380   | 0.540  | 0.402     | 0.570   | 0.804   | 1.140   | 1.620  |
| 20           | 0.150     | 0.212   | 0.300   | 0.424   | 0.600  | 0.450     | 0.636   | 0.900   | 1.272   | 1.800  |
| 15           | 0.173     | 0.244   | 0.346   | 0.488   | 0.692  | 0.519     | 0.732   | 1.038   | 1.464   | 2.076  |
| 10           | 0.212     | 0.300   | 0.424   | 0.600   | 0.848  | 0.636     | 0.900   | 1.272   | 1.800   | 2.544  |
| 5            | 0.300     | 0.424   | 0.600   | 0.848   | 1.200  | 0.900     | 1.272   | 1.800   | 2.544   | 3.600  |