



中华人民共和国国家标准

GB/T 29997—2013

铜及铜合金棒线材涡流探伤方法

Eddy current testing method of copper and copper-alloys rods, bars and wires

2013-11-27 发布

2014-08-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局 发布
中国国家标准化管理委员会

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准参考采用 ASTM E1606-2009《电工用重拉铜棒的电磁(涡流)检测方法》。

本标准由全国有色金属标准化技术委员会(SAC/TC 243)归口。

本标准负责起草单位:中国有色金属工业无损检测中心、佛山市华鸿铜管有限公司、中铝洛阳铜业有限公司、中铝上海铜业有限公司。

本标准主要起草人:张光济、林国良、李湘海、黎晓桃、奚国平、施海青、张熹、蒋杰、张小青。

铜及铜合金棒线材涡流探伤方法

1 范围

本标准规定了铜及铜合金棒线材进行穿过式和点式涡流探伤的方法、对比试样、仪器设备、操作步骤和结果的评定。

本标准适用于外径 $\Phi 2\text{ mm} \sim \Phi 100\text{ mm}$ 棒线材表面及近表面缺陷的涡流探伤,其他规格的棒线材可参照本标准执行。

注:棒线材涡流探伤应在传动装置上自动进行,如需采用手动涡流探伤,可由供需双方协商确定。

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 5248—2008 铜及铜合金无缝管涡流探伤方法

GB/T 9445—2005 无损检测 人员资格鉴定与认证

GB/T 12604.6—2008 无损检测 术语 涡流检测

3 术语及定义

下列术语及定义适用于本文件。

3.1

(铜棒线)在线涡流探伤方法 on-line eddy current testing method of copper rods, bars and wires

利用电磁感应在铜棒线材表面和近表面产生涡流的原理,对生产过程中的成品和半成品棒线材进行整盘或整卷的探伤方法。

3.2

(铜棒线)离线涡流探伤方法 off-line eddy current testing method of copper rods, bars and wires

利用电磁感应在铜棒线材表面和近表面产生涡流的原理,对生产过程中的成品和半成品棒线材进行逐根或逐条探伤的方法。

3.3

信噪比 signal to noise ratio

在涡流探伤仪器输出端缺陷信号幅度与最大噪声信号幅度之比。

3.4

零电势 difference of induced-potential

检测线圈采用差动连接而在绕组之间形成的感应电压之差。检测线圈内有试件时为有载零电势。检测线圈内无试件时空载零电势。

3.5

穿过式涡流探伤方法 feed-through eddy current testing method

采用穿过式涡流检测线圈进行涡流探伤的方法。

3.6

点式涡流探伤方法 probe coil eddy current testing method

采用点式涡流检测线圈进行涡流探伤的方法。

3.7

标准渗透深度 standard depth of penetration

涡流在棒线材中渗透深度与被检棒线材电导率、检测频率有关。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,其计算见式(1):

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

式中:

- δ ——标准渗透深度,单位为毫米(mm);
- ρ ——被检试样的电阻系数,单位为欧姆平方毫米每米($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$);
- σ ——被检试样的导电率,单位为米每欧姆平方毫米 [$\text{m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$]
- f ——检测频率,单位为赫兹(Hz);
- μ_r ——被检试样的相对磁导率,对于非铁磁性材料, μ_r 近为 1,无量纲。

注: 改写 GB/T 12604.6—2008,定义 2.11。

3.8

有效渗透深度 effective depth of penetration

超过一个标准渗透深度,用涡流法检验不连续性缺陷的能力将降低,通常公认的检测冶金或者机械缺陷的极限深度是 3 δ ,并且将其称为有效渗透深度。

注: 改写 GB/T 12604.6—2008,定义 2.12。

3.9

激励频率 excitation frequency

激励电流的标称频率。

【GB/T 12604.6—2008,定义 2.16。】

3.10

探头 probe

包含激励和接收单元的涡流传感器。

【GB/T 12604.6—2008,定义 4.1。】

3.11

检测线圈填充系数 coil fill factor

对于外穿过式线圈,等于被检件外径横截面积与线圈内径横截面积之比。对于内穿过式线圈,等于线圈外径横截面积与被检件横截面积之比。

【GB/T 12604.6—2008,定义 4.51。】

3.12

端部效应 end effect

是指当检测线圈处于棒线材端部时,由于涡流流动路径发生畸变所产生的干扰信号。

注: 改写 GB/T 12604.6—2008,定义 6.27。

3.13

幅度分析 amplitude analysis

对信号幅度进行评价的技术。

【GB/T 12604.6—2008,定义 7.1。】

3.14

相位分析 phase analysis

对涡流检测信号的相位角实施测量和分析的技术。

【GB/T 12604.6—2008,定义 7.3。】

3.15

调制分析 modulation analysis

对检波后的涡流信号进行频率分析的技术。

【GB/T 12604.6—2008,定义 7.5。】

4 方法原理

涡流探伤是金属材料的一种无损检测方法。涡流探伤的灵敏度是以标准样棒(线)上人工缺陷当量的大小来衡量的。但人工缺陷的尺寸不应解释为涡流探伤可以检测到缺陷的最小尺寸。由于探伤灵敏度与涡流密度有关,而涡流密度随着棒线材外表面距离的增加而呈指数曲线下降,探伤灵敏度也随之下降。当表面有缺陷的导电试件通过由交流电流激励线圈时,则试件表层感应出的涡流会发生畸变,这一变化使线圈的阻抗发生变化,导致在检测线圈内产生的电信号发生变化。经信号处理可得到缺陷信号的显示图像、电信号、声光报警、记录等。从缺陷信号的幅值和相位可对缺陷进行判断。

注 1: 若含有磁性的棒线材(如铜镍合金材)因其固有的磁导率不均匀性,可能导致检测结果的不正确,通常可以采用饱和磁化技术加以消除。

注 2: 对于棒线材中存在的连续而深度缓慢变化的纵向缺陷,用穿过式自比差动线圈检测,其信号可能总是达不到报警电平。

5 仪器和设备

5.1 涡流探伤系统主要包括涡流探伤仪器、检测线圈和传动装置。还包括记录装置、电气控制、磁饱和等辅助装置。

5.2 涡流探伤仪器: 涡流探伤仪器应具有激励、放大、信号处理(包括相位分析、调制分析和幅度分析等)、信号显示、声、光报警、端部信号消除、分选、标记、打印信号输出等单元或功能。探伤仪应具有良好的稳定性和抗干扰能力。

5.2.1 信号显示可以是阻抗平面的矢量显示,也可以是单向或双向幅度显示。

5.2.2 增益器对于相应的标准人工缺陷信号而言,应有不小于 10 dB 的余量。

5.3 检测线圈: 穿过式线圈一般由单个或多个测量线圈和激励线圈构成的差动式线圈组成,以单一频率激励,检测线圈内径与被检棒线材外径匹配,其填充系数不小于 0.70。点式线圈探头可采用绝对式、差动式等方式,应与仪器有良好的匹配,采用铜棒线与线圈作相对匀速旋转运动和匀速直线运动的方式进行检验。点式线圈探头与探伤仪配合,应有间隙补偿功能,以便克服由提离效应引起的检测误差。

5.4 传动装置: 主要包括进、出料架、传动辊道、驱动压轮、成品分选等部分,各机构的动作应平稳,并且在最小振动条件下同心地使被检棒线材通过检测线圈。

5.4.1 传动装置的传送速度应匀速,其波动范围应不大于 $\pm 5\%$ 。

5.4.2 棒线材在线检验应配有收放线装置,并且收放线装置有可靠的同心度,能确保工件同心地通过探头。并要安装打标或剪切装置。

5.5 磁饱和装置: 饱和磁化装置应能在棒线材的被检区域产生足够的饱和磁化能力,能消除其磁导率不均匀所引起的干扰信号。

5.6 涡流探伤设备在实际探伤过程中,不允许对被检棒线材造成机械损伤。

5.7 涡流探伤仪器与装置应定期检测,按本标准进行综合性能测试。涡流探伤系统的综合性能指标应符合表 1 的规定。各指标测试方法按附录 A 进行。

表 1 涡流探伤综合性能指标

| 周向灵敏度差 Z | 信噪比 S/N | 端部不可检测(盲区) | 人工缺陷大小分辨率 γ | 人工缺陷漏报率 K_1 | 人工缺陷误报率 K_2 | 长时间稳定性(波动值) |
|-------------|--------------|---------------|--------------------|---------------|---------------|-------------|
| ≤ 3 dB | ≥ 10 dB | ≤ 100 mm | ≤ 0.2 mm | $\leq 1.0\%$ | $\leq 3.0\%$ | ≤ 2 dB |

6 标准人工缺陷样棒(线)

6.1 标准人工缺陷样棒(线),是经人工加工的有标准伤的棒线材,用于调节探伤灵敏度、测定探伤设备的综合性能及在探伤过程中校验设备。

6.2 标准人工缺陷样棒(线)的材质,必须与被检棒线材的牌号、规格、表面状态、热处理状态相同,并且无自然缺陷的低噪声棒线材。

6.3 标准人工缺陷的形状:钻孔和纵向刻槽(U型)。可采用电火花或机械加工制作。

6.4 标准人工缺陷样棒(线)的孔径、纵长刻槽尺寸,与被检棒线材的外径的对应关系见表 2 和表 3。

表 2 标准人工缺陷纵长刻槽尺寸等级

| 棒(线)直径 D mm | 人工缺陷等级代号 | 槽深 h mm | 槽深允许偏差 mm | 槽宽 W mm | 槽长 L mm |
|------------------|----------|--------------|------------------------------|--------------|--------------|
| 2~8 | N-3% | 3%D | $\pm 10\%h$ | ≤ 0.3 | ≤ 20 |
| | N-4% | 4%D | | | |
| >8~30 | N-1% | 1%D | $\pm 10\%h$ 但不得超过 ± 0.05 | ≤ 0.3 | ≤ 20 |
| | N-2% | 2%D | | | |
| | N-3% | 3%D | | | |
| | N-4% | 4%D | | | |
| >30~100 | N-0.2 | 0.2 | ± 0.05 | ≤ 0.5 | ≤ 20 |
| | N-0.3 | 0.3 | | | |
| | N-0.4 | 0.4 | | | |
| | N-0.5 | 0.5 | | | |
| | N-0.6 | 0.6 | | | |
| | N-0.8 | 0.8 | | | |
| | N-1.0 | 1.0 | | | |
| | N-1.2 | 1.2 | | | |
| N-1.5 | 1.5 | | | | |

注 1: 等级的选择由供需双方决定,应考虑被检棒线材表面粗糙度、平直度和加工状态的因素;

注 2: 槽长的选择可根据探伤速度及探头个数确定;

注 3: 槽深应由供需双方选定,槽深最小不能小于产品直径公差之半。

表 3 标准人工缺陷钻孔尺寸

| 棒(线)直径 D mm | 人工缺陷等级代号 | 孔径 ϕ mm | 孔深 h mm | 允许偏差 mm |
|------------------|----------|-----------------|---------------------------------|------------|
| 2~30 | N-0.6 | 0.6 | 0.5 | ± 0.05 |
| | N-0.7 | 0.7 | 1.0 | |
| | N-0.8 | 0.8 | 1.5 | |
| | N-1.0 | 1.0 | 2.0 | |
| >30~100 | N-1.2 | 1.2 | 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 | ± 0.05 |
| | N-1.4 | 1.4 | | |
| | N-1.6 | 1.6 | | |
| | N-1.8 | 1.8 | | |
| | N-2.0 | 2.0 | | |
| | N-2.2 | 2.2 | | |
| | N-3.0 | 3.0 | | |

6.5 离线检测的标准人工缺陷样棒(线)长度应大于 2 000 mm,直度不大于 1.5 mm/m,轴向 5 个相同钻孔,2 个钻孔分别距离棒(线)端 100 mm,中间 3 个孔之间的距离为 500 mm,并沿圆周方向相隔 120° 分布,可按照图 1a)、图 1b)或图 1c)制作。

单位为毫米

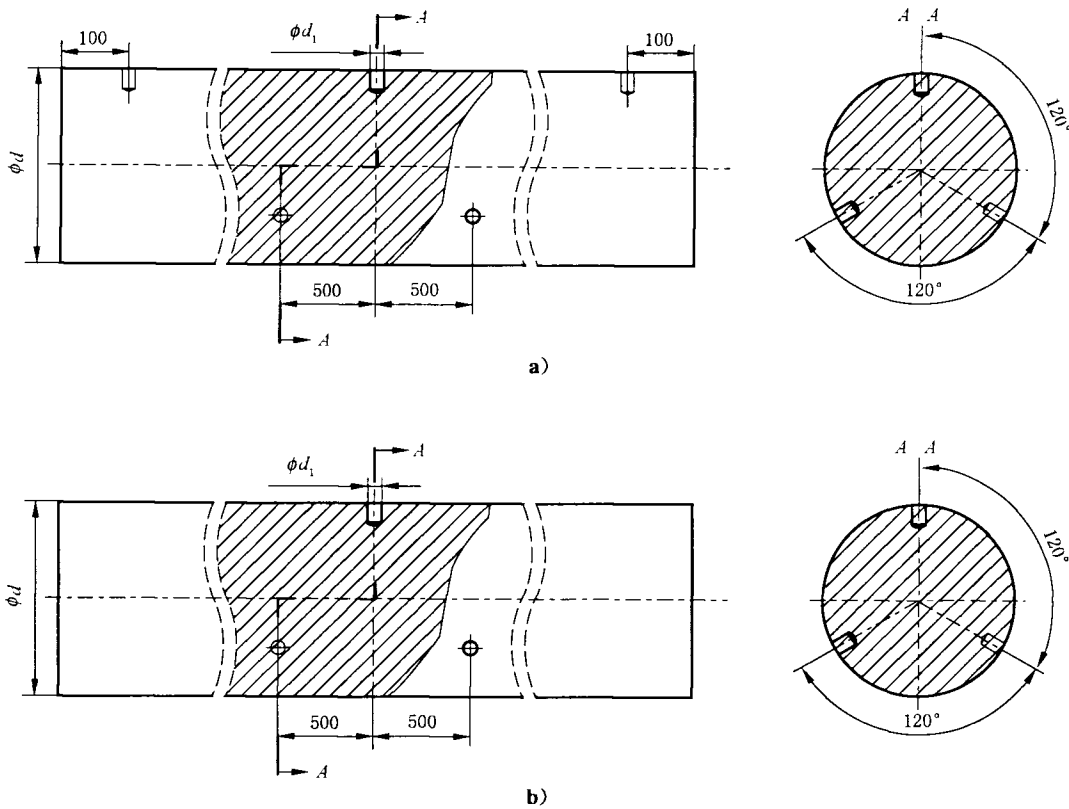
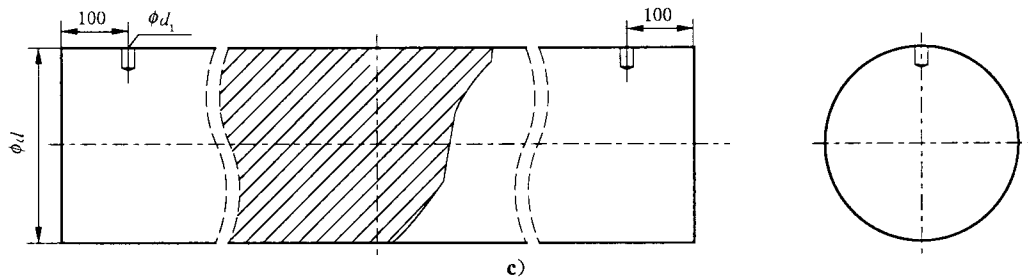


图 1 标准人工缺陷样棒(线)图



说明:

d_1 ——标准人工缺陷孔径;

d ——棒线材外径。

图 1 (续)

7 操作步骤

7.1 棒线材在进行涡流探伤之前应进行外形尺寸和表面质量的检查。

7.2 涡流探伤仪器和设备应在预热稳定后,方可进行调试、探伤。

7.3 根据被检棒线材的规格,选择同牌号、同状态、同规格的有标准人工缺陷的样棒(线)。

7.4 选择合适的检测线圈和导套,并安装固定好。

7.5 调整设备的主机与工件的同心度。

7.6 调整仪器的参数:选择合适的频率、相位、滤波,确定灵敏度(即增益)。

7.6.1 确定灵敏度时,连续走 5 次,使 5 个人工缺陷都报警。

7.6.2 确定灵敏度时,中间三个人工缺陷的周向灵敏度差不大于 3 dB,信噪比不小于 10 dB。

7.7 正常探伤:在确定灵敏度基础上,再提高 2 dB 灵敏度值,方可对棒线材进行涡流探伤。

7.8 材质含磁性时,可以采用饱和磁化装置,使其被检区域达到磁饱和。

7.9 离线检测:每隔 2 h~4 h 应对 7.6.2 调整的仪器参数进行校验。若发现灵敏度的波动值大于 2dB 时,应对上一次至本次检验之间的棒线材进行复检。

7.10 棒线材的在线检测:没有传动装置时可用手动方法参照离线检测确定灵敏度。在正常探伤时,应开启打标对应装置(或剪切装置)。

8 探伤结果的评定

8.1 没有警报信号的棒线材均为涡流探伤合格。

8.2 对于直状棒线材,有警报信号的均为涡流探伤不合格。如对缺陷信号有疑问,应进行复探。

8.3 对于盘状棒线材,有缺陷信号报警的部位均为涡流探伤不合格部位。可通过打标装置直接在有缺陷的区域上打印标记或进行剪切。标记长度由供需双方协商确定,一般为 300 mm~600 mm,伤点应在标记范围内,并作好缺陷数量的记录。

9 涡流探伤人员的资格

涡流探伤人员必须经过专业培训、考核、持证上岗。

涡流探伤人员资格证书分为三个级别：Ⅰ级为操作工；Ⅱ级和Ⅲ级资格人员有资质出具检测报告；Ⅲ级为仲裁人员。

10 涡流探伤报告

涡流探伤报告应包括以下内容：

- a) 生产厂家和委托单位；
- b) 牌号、规格、状态和批号；
- c) 涡流探伤仪器名称、型号，检测线圈规格，探伤时主要参数，包括激励频率、相位、增益和滤波等；如果是组合式探伤，应分别注明；
- d) 探伤速度；
- e) 验收等级，使用标准人工样棒(线)的编号，人工缺陷伤形尺寸；
- f) 实际探伤数量、合格量 and 不合格量；
- g) 探伤人员及其签章，并注明资格级别；
- h) 如果使用饱和磁化，还应记录：磁化电流、磁化电压和剩磁检测值；
- i) 涡流探伤标准编号；
- j) 探伤日期。

附录 A
(规范性附录)

铜及铜合金棒线涡流自动探伤设备离线检测综合性能测试方法

A.1 范围

本附录规定了离线检测铜及铜合金棒线材涡流自动探伤设备综合性能的测试条件、方法和测试项目以及应达到的最低性能指标。

A.2 测试条件

A.2.1 涡流探伤仪器和设备应符合本标准第 5 章的规定。

A.2.2 测试时,应在 50 m/min~60 m/min 的探伤速度下进行。应如实记录激励频率、增益、相位、滤波、探伤速度、棒线材直径、检测线圈规格等参数。如采用饱和磁化,还应记录磁化电流、磁化电压、剩磁检测值。

A.3 标准人工缺陷样棒(线)

A.3.1 标准人工样棒(线)的制作应符合本标准第 6 章的规定。

A.3.2 测试用标准人工缺陷样棒(线)的外径应根据被测试设备常用产品的种类,以及该设备所能检测棒线材外径尺寸的上限规格制作。

A.4 测试项目和方法

A.4.1 周向灵敏度差

调节探伤的灵敏度,使标准人工缺陷棒(线)周向 120°中间的 3 个人工缺陷刚好报警,并且连续行走 5 次都报警。记下此时的增益值。

调节探伤的灵敏度,使标准人工缺陷样棒(线)周向 120°中间的 3 个人工缺陷刚好不报警,并且连续行走 5 次都不报警。记下此时的增益值。

$$Z = Z_1 - Z_2 \quad \dots\dots\dots (A.1)$$

式中:

Z ——周向灵敏度差,单位为分贝(dB);

Z_1 ——标准人工缺陷棒(线)中间的 3 个人工缺陷刚好报警的增益值,单位为分贝(dB);

Z_2 ——标准人工缺陷棒(线)中间的 3 个人工缺陷刚好不报警的增益值,单位为分贝(dB)。

A.4.2 信噪比

调节探伤灵敏度的 dB 值,连续测试 5 次,使噪声刚好报警,记下此时的增益值。

$$S/N = Z_3 - Z_1 \quad \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

S/N ——信噪比单位为分贝(dB);

Z_1 ——标准人工缺陷棒(线)中间的3个人工缺陷刚好报警的增益值,单位为分贝(dB);

Z_3 ——噪声刚好报警的增益值,单位为分贝(dB)。

A.4.3 漏报率

在 Z_1 的探伤灵敏度值的基础上提高灵敏度量 2 dB,并且连续行走 50 次,记下漏报人工缺陷的次数。

$$K_1 = [N_1 / (N_2 \times 50)] \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

K_1 ——漏报率, %;

N_1 ——漏报人工缺陷的个数;

N_2 ——标准人工缺陷棒(线)中人工缺陷个数。

A.4.4 误报率

在 Z_1 的探伤灵敏度的基础上提高灵敏度量 2 dB,并且连续行走 50 次,记下超过人工缺陷报警数的误报次数。每次行走中,出现 1 次及 1 次以上的误报均记为误报 1 次。

$$K_2 = (N_3 / 50) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

K_2 ——误报率, %;

N_3 ——误报次数。

A.4.5 端部不可检测区(盲区)

在 Z_1 的探伤灵敏度值的基础上提高 2 dB,在棒线材的端部效应被切除的前提下,连续测试 5 次,使得标准人工缺陷样棒(线)两端的 2 个人工缺陷都报警。

两端的人工缺陷与棒线端之间的距离即为不可检测区的长度。

A.4.6 人工缺陷大小分辨力

人工缺陷大小分辨力按照图 A.1 制作。在相同的灵敏度 dB 值条件下,连续测试 5 次,刚好报警的人工缺陷孔径与刚好不报警的人工缺陷孔径之间的差值即人工缺陷大小分辨力。

$$\gamma = d_1 - d_2 \quad \dots\dots\dots (A.5)$$

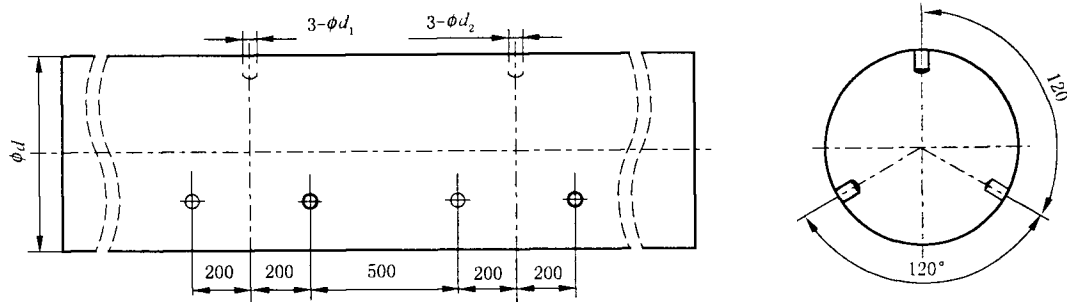
式中:

γ ——人工缺陷大小分辨力,单位为毫米(mm);

d_1 ——刚好报警的人工缺陷孔径,单位为毫米(mm);

d_2 ——刚好不报警的人工缺陷孔径,单位为毫米(mm)。

单位为毫米



d_1 ——刚好报警的人工缺陷孔径；
 $d_2 = d_1 - 0.2 \text{ mm}$ ；
 d ——棒线材外径。

图 A.1 缺陷大小分辨力样棒(线)

A.4.7 长时间稳定性

在探伤设备连续运行 2 h 之后,重新按照 A.4.1 和 A.4.2 分别测试周向灵敏度和信噪比。连续测试 5 次,其波动值应不大于 2 dB,否则应按 A.4.1 和 A.4.2 重新确定指标参数,方可再进行探伤。

中 华 人 民 共 和 国
国 家 标 准
铜及铜合金棒线材涡流探伤方法
GB/T 29997—2013

*

中国标准出版社出版发行
北京市朝阳区和平里西街甲2号(100013)
北京市西城区三里河北街16号(100045)

网址 www.spc.net.cn

总编室:(010)64275323 发行中心:(010)51780235

读者服务部:(010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷
各地新华书店经销

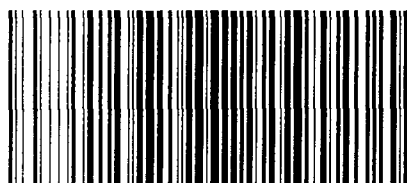
*

开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 22 千字
2014年4月第一版 2014年4月第一次印刷

*

书号: 155066·1-48221 定价 18.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换
版权专有 侵权必究
举报电话:(010)68510107



GB/T 29997-2013