

T/JLA

团 体 标 准

T/JLA XXXX—XXXX

铜合金弹性带箔材弹性极限试验方法 悬臂
梁法

Test method for elastic limit of copper alloy elastic strips and foils Cantilever beam
method

(征求意见稿)

XXXX - XX - XX 发布

XXXX -XX - XX 实施

福建省计量测试学会 发布

目 次

前言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 方法原理	2
5 试验设备	2
6 试样	2
7 试验条件	3
8 试验方法	3
9 试验报告	5

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件的某些内容可能涉及专利。本标准件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由福建紫金铜业有限公司提出。

本文件由福建省计量测试学会归口。

本文件起草单位：福建紫金铜业有限公司、福州大学、福建省计量科学研究院。

本文件主要起草人：周建辉、王晨、王月明、钟金德、谭文龙、王矿金、曾佳伟、薛金。

铜合金弹性带箔材弹性极限试验方法 悬臂梁法

1 范围

本标准规定了采用悬臂梁法测定铜合金弹性带箔材弹性极限的术语和定义、方法原理、试验设备、试样、试验条件、试验方法和试验报告等内容。

本标准适用于铜锡磷合金、铜钛合金、铜铍合金、铜铍镍合金、铜镍锡合金、铜镍锌合金带箔材的弹性极限的测试，带箔材厚度为0.05mm~1.0mm。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 10623 金属材料 力学性能试验术语

GB/T 16825.1-2022 金属材料 静力单轴试验机的校验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机测力系统的校验与校准

GB/T 26303.3-2010 铜及铜合金加工材外形尺寸检测方法 第3部分：板带材

GB/T 17793-2010 加工铜及铜合金板带材外形尺寸及允许偏差

GB/T 26007-2017 弹性元件和接插件用铜合金带箔材

GB/T 34505-2017 铜及铜合金材料 室温拉伸试验方法

3 术语和定义

GB/T 10623界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

弯曲应力 bending stress

K_b

悬臂梁状态下，试样在自由端加载并弯曲后，其所承受的最大表面应力。

3.2

弯曲永久变形量 permanent bending deflection

ϵ

悬臂梁状态下，试样在规定振幅和频率的载荷作用下，往复弯曲一定次数所形成的塑性变形量。

3.3

弹性模量 modulus of elasticity

E

试样弹性范围内的应力与应变之间的比值。

3.4

弯曲位移 bending deflection

S

悬臂梁状态下，在试样自由端施加载荷后，其负荷点产生垂直于轴线方向的线位移。

3.5

弯曲弹性极限 bending elastic limit

$K_{b0.075}$, $K_{b0.1}$

悬臂梁状态下，在达到规定的弯曲永久变形量（本标准推荐为0.075 mm或0.100 mm）的情况下，试样所承受的最大弯曲应力。

4 方法原理

本方法采用悬臂梁弯曲的形式，试样一端固定，在试样的自由端施加载荷，使其在一定的振幅、频率下产生反复弯曲变形，直至试样弯曲永久变形量超过规定数值。根据试样的厚度、弯曲位移、弹性模量等数据，结合计算公式获得试样的弯曲弹性极限。

5 试验设备

5.1 试验设备

图1为试验设备示意图，其主要由试样夹持机构、精密直线滑轨台、凸轮驱动机构、激光位移传感器等装置组成。激光位移传感器的最大允许误差为 $\pm 0.001\text{mm}$ 。激光位移传感器的测量点与燕尾槽顶杆的尖端点处于同一铅垂线上。

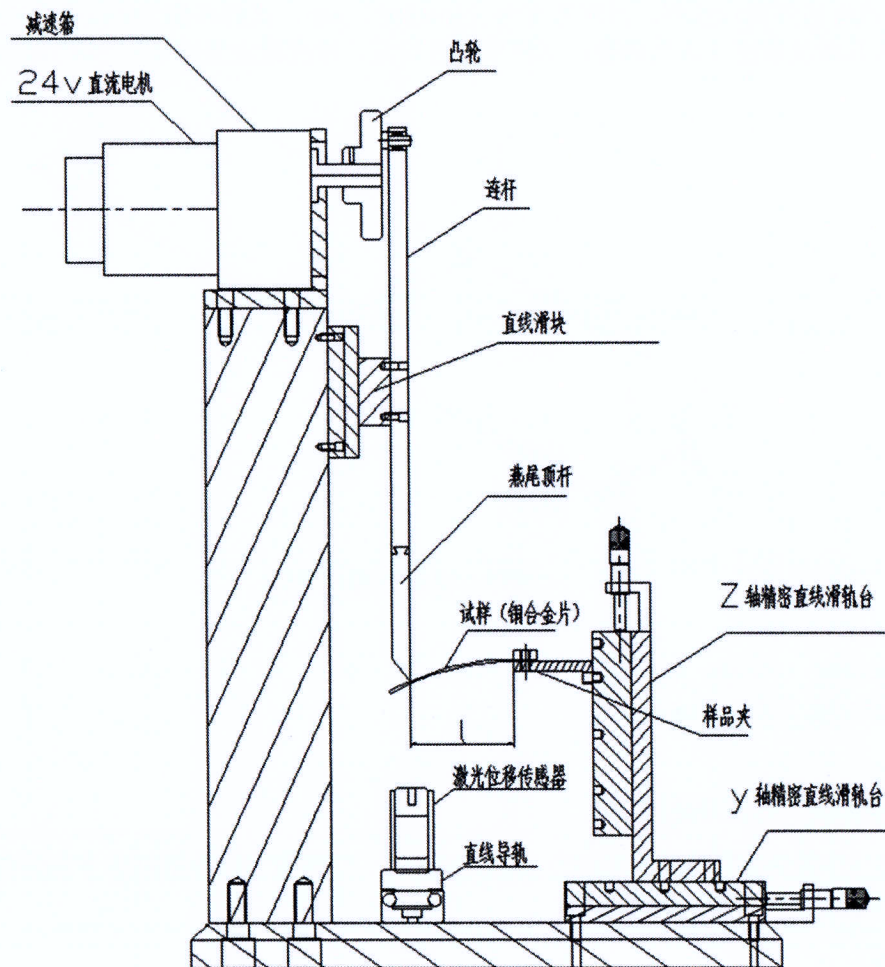


图1 试验设备示意图

5.2 燕尾槽顶杆

燕尾槽顶杆的外形如图2所示，顶杆配备不同长度规格，结合凸轮结构，可以在试样的自由端产生所需的弯曲位移。

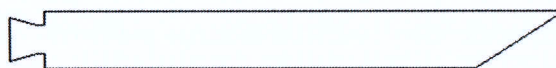


图2 燕尾槽顶杆示意图

6 试样

6.1 试样的制备

6.1.1 试样的长度方向应平行于带箔材的轧制方向。若试样的长度方向不平行于带箔材的轧制方向，在试验报告中应予以注明。

6.1.2 在带箔材上切取和制样过程中，应避免试样过热和加工硬化对试验结果产生影响，必要时可以使用砂纸对试样边缘部位进行打磨，以去除毛刺。制样过程中不应拉直或弯曲试样，且不得实施可能改变其应力的矫正操作。

6.1.3 加工完成的试样应平整，表面无油污和氧化层，表面无划伤，且无其他机械损伤。

6.2 试样尺寸

图3为试样的外观示意图。试样宽度为 (10 ± 0.05) mm；试样长度为30mm~120mm，可以根据试样的厚度、夹具情况等进行适当调整；试样厚度应均匀，厚度最大允许误差为 ± 0.002 mm。

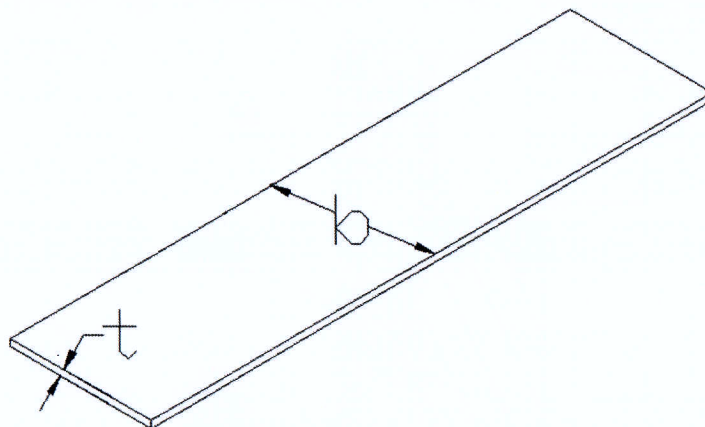


图3 试样外观示意图

说明：

t: 试样厚度（单位：mm）

b: 试样宽度（单位：mm）

6.3 试样的数量、标识及使用

对于同一件铜合金带箔材产品应至少取四个试样，并明确标识带箔材的上表面和下表面，以确保不同表面分别测量两个试样。

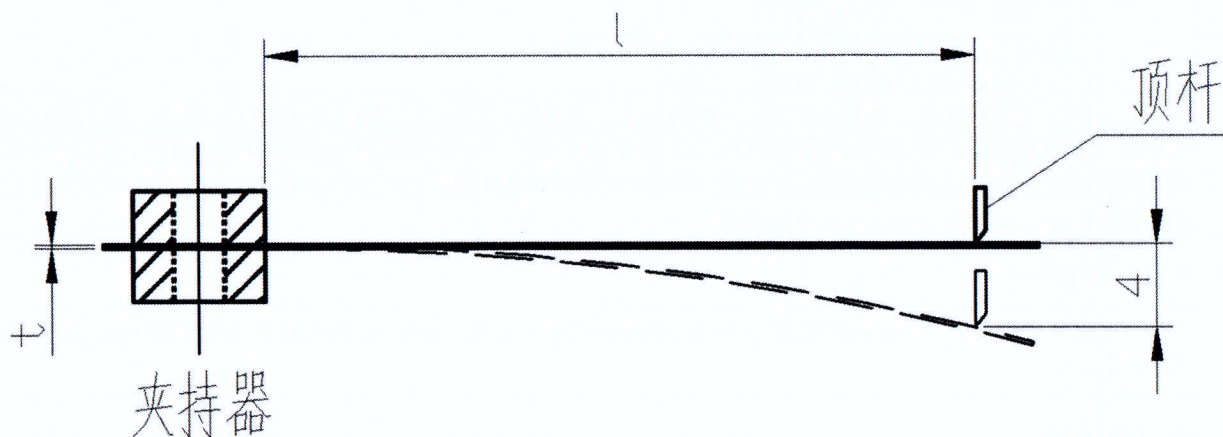
7 试验条件

试验应在 $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度范围内进行。对温度要求严格的试验，试验温度应为 $23\text{ }^{\circ}\text{C}\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

8 试验方法

8.1 试验准备

试样一端安放在夹持器中使其固定（称为固定端），试样的另一端为自由端，如图4所示，燕尾槽顶杆与试样接触位置称为负荷点，负荷点在距离试样自由端端头 (3 ± 0.2) mm的位置。对试样重复施加振幅为4mm的弯曲位移，次数为50次，频率为200次/分钟，以稳定试样的内应力分布。



t: 试样厚度 (单位: mm)

l: 试样固定端到负荷点的距离 (单位: mm)

对于铜钛合金、铜镍锡合金、铜铍合金、铜铍镍合金, $l = \sqrt{3000 \times t}$

对于铜锡磷合金、铜镍锌合金, $l = \sqrt{4000 \times t}$

图4 试样安装及弯曲位移施加方式

8.2 试验数据的测量

按照表 1 的测量顺序, 通过调整燕尾槽顶杆的长度使试样的弯曲位移逐步增加。在每个测量序号的试验过程中, 试样承受 50 次重复弯曲位移, 频率为 200 次/分钟, 然后测量负荷点处的弯曲永久变形量。接着增大试样的弯曲位移, 继续进行试验。若试样为铜钛合金、铜镍锡合金、铜铍合金、铜铍镍合金, 弯曲永久变形量超过 0.075mm 时, 试验停止; 若试样为铜锡磷合金、铜镍锌合金, 弯曲永久变形量超过 0.100mm 时, 试验停止。

结合表 1 中的数据, 当试样的弯曲永久变形量达到规定数值 (0.075mm 或 0.100mm) 时, 对应的弯曲应力值可以通过公式 (2) 计算获得, 将其作为试样的弯曲弹性极限值, 记为 $Kb_{0.075}$ 或 $Kb_{0.1}$ 。

$$Kb_{0.075} \text{ (或 } Kb_{0.1}) = Kb_a + (Kb_b - Kb_a) \frac{\delta - \varepsilon_a}{\varepsilon_b - \varepsilon_a} \dots\dots\dots (1)$$

式中:

$Kb_{0.075}$, $Kb_{0.1}$ ——试样的弯曲弹性极限值 (单位: MPa);

Kb_a ——试样的弯曲永久变形量为 ε_a 时, 对应的最大表面应力值 (单位: MPa);

Kb_b ——试样的弯曲永久变形量为 ε_b 时, 对应的最大表面应力值 (单位: MPa);

δ ——规定的弯曲永久变形量, 数值为 0.075 或 0.100 (单位: mm);

ε_a ——试样产生的弯曲永久变形量中不超过 δ 的最大数值 (单位: mm)

ε_b ——试样产生的弯曲永久变形量中超过 δ 的最小数值 (单位: mm)

表1 测量顺序和对应的弯曲位移

测量顺序的序号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
弯曲位移 S (mm)	4.0	5.3	6.7	8.0	9.3	10.7	12.0	13.3	14.7	16.0	17.3	18.7

每个测量序号的试验过程中, 试样所承受的弯曲应力 (即最大表面应力值) Kb 可以通过公式 (2) 计算获得:

$$Kb = \frac{1.5 \cdot S \cdot t \cdot E}{l^2} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

Kb ——试样最大表面应力值 (单位: MPa);

S ——试样的弯曲位移 (单位: mm)

t ——试样厚度（单位：mm）

l ——试样固定端到负荷点的距离（单位：mm）

E ——试样的弹性模量（单位：GPa）

其中，铜钛合金、铜镍锡合金、铜铍合金、铜铍镍合金的 E 值可以选择118 GPa，铜锡磷合金的 E 值可以选择98 GPa，铜镍锌合金的 E 值可以选择127 GPa。这几种铜合金带箔材的 E 值也可以通过室温拉伸试验测量获得，拉伸试样的长度方向应平行于带箔材的轧制方向。若拉伸试样的长度方向不平行于带箔材的轧制方向，在报告时应予以说明。

8.3 数值修约

在四个试样上分别测量弯曲弹性极限，取平均值作为该件铜合金带箔材产品在悬臂梁状态下的弯曲弹性极限值。

9 试验报告

试验报告应包含如下内容：

- a) 试验部门；
 - b) 试验日期；
 - c) 试样数量；
 - d) 试样的几何尺寸；
 - e) 试验温度；
 - f) 试样描述：①试样名称、成分、状态；②试样的取样方向；③客户要求的其他信息
 - g) 弹性极限值($Kb_{0.075}$ 或 $Kb_{0.1}$)
-