

# 铜及铜合金带弯曲试验标准对比研究

涂德华<sup>1</sup>, 张鑫<sup>2</sup>

(1. 厦门大学嘉庚学院机电工程系, 福建 漳州 363105; 2. 安费诺商用电子产品(成都)有限公司, 成都 611731)

**摘要:**为了提高电子元件材料可靠性和我国铜合金带行业的国际竞争力,对比分析了美国标准(ASTM)和中国国家标准(GB)关于铜及铜合金带弯曲试验的主要差异。在铜及铜合金带弯曲试验标准体系上,美国标准(ASTM)优于中国国家标准(GB)。目前,我国铜及铜合金带标准 GB/T2059-2008 和 YS/T 1041-2015 都引用了适用于所有金属材料、所有厚度的 GB/T232《金属材料 弯曲试验方法》作为弯曲试验标准,没有引用 GB/T 15825.5《金属薄板成形性能与试验方法-第 5 部分:弯曲试验》。在铜及铜合金带弯曲性能测试严苛性和适用性上,GB/T15825.5-2008 比 GB/T232-2010 严格及适用,ASTM B820-14a 比 GB/T15825.5-2008 更严格、更适用。为了提升我国铜合金带标准水平,中国国家标准(GB)组织应该尽快制定专用铜及铜合金带弯曲试验标准,或尽快更新铜及铜合金带弯曲试验标准体系。

**关键词:**铜;弯曲试验;标准;对比

**中图分类号:**TM241;TB302;TG115

**文献标志码:**A

## 引言

铜及铜合金精密带材是电子工业、电气工业最重要的基础材料之一。进入二十一世纪后,我国通讯、电力、电子、汽车等行业迅猛发展对精密铜带的需求在数量上和质量上都有大幅度的提高<sup>[1]</sup>。随着电子零部件向更快、更小、更智能、更环保的方向发展,精密铜及铜合金带的使用也越来越广泛。为了提高我国铜及铜合金带的综合性能,我国在铜合金晶粒细化及其工艺做了大量的研究工作<sup>[2-5]</sup>。铜及铜合金带的弯曲性能在电子零部件的小型化进程中起到了决定性的作用。铜及铜合金带的弯曲性能优劣与材料的硬度、拉伸强度、延伸率、金属晶粒、合金成分、表面粗糙度等参数有关。在实际的零件加工中,相同的铜及铜合金带的弯曲性能表现还会受到模具设计、模具加工质量、润滑条件等间接参数的影响。如何测试及判定铜及铜合金带的弯曲性能,国内

外都制定了通用或专用标准。如 ISO 国际标准化组织发布了 ISO 7438-2005《金属材料 弯曲试验》(Metallic materials - Bend test)<sup>[6]</sup>;我国根据国际标准 ISO 7438-2005《金属材料:弯曲试验》(英文版),在 2010 年重新起草并出版了 GB/T 232-2010《金属材料:弯曲试验方法》<sup>[7]</sup>。美国 ASTM 组织在 2014 年更新了铜及铜合金带的专用弯曲试验标准 ASTM B820-14a《铜及铜合金带材可成形性测定用弯曲试验的标准试验方法》(Standard Test Method for Bend Test for Determining the Formability of Copper and Copper Alloy Strip)<sup>[8]</sup>。对比 ASTM 和 GB 在铜及铜合金带弯曲试验标准的主要不同点,这对于建立适应市场要求的我国铜及铜合金系列具有很好的参考价值,也能为我国铜及铜合金带产品参与国际竞争提供有力依据。

高标准国际化的金属材料试验标准是金属材料性能测试结果可靠性的保障,同时能够提升我国金属材料

收稿日期:2016-06-13

作者简介:涂德华(1975-),女,黑龙江齐齐哈尔人,高级工程师,硕士,主要从事机电元件、精密仪器方面的研究,(E-mail)tudehua1975@163.com;

张鑫(1975-),男,四川自贡人,高级工程师,硕士,主要从事机电元件、精密仪器方面的研究,(E-mail)edwardzhang100@163.com

产品的国际竞争力和认可度,打破其他国家因我国测试标准落后而施加的技术封锁<sup>[9]</sup>。

## 1 ASTM和GB铜及铜合金带弯曲试验标准的对比研究

对比美国标准( ASTM)与中国国家标准( GB)关于铜及铜合金带的弯曲试验标准,二者差异主要存在于标准体系、试验原理、取样、检测判定4个方面。

### 1.1 标准体系对比

我国在2008年更新了GB/T 15825.5《金属薄板成形性能与试验方法 第5部分:弯曲试验》。该标准规定了以最小相对弯曲半径为指标的金属薄板弯曲成形性能试验方法,但只适用于厚度0.3 mm~4.0 mm的金属薄板<sup>[10]</sup>。由于铜及铜合金带的通用厚度在0.1 mm以上,而有的工厂已经推出了0.1 mm以下的铜及铜合金带,GB/T15825.5存在一定的不适用性。与ISO7438等效的GB/T232规定的材料厚度范围宽,我国现行铜及铜合金带的标准都采用了GB/T232作为弯曲试验的标准,如GB/T2059-2008《铜及铜合金带材》<sup>[11]</sup>和YS/T1041-2015《汽车端子连接器用铜及铜合金带》<sup>[12]</sup>。

美国ASTM针对铜及铜合金带的弯曲性能,专门制定了ASTM B820,适用于0.076 mm~0.79 mm的铜及铜合金带。该标准在ASTM相关的铜及铜合金带标准中贯彻执行,如2013年更新的ASTM B888/888M-13《电连接器或弹簧触点生产用铜合金带材的标准规范》(Standard Specification for Copper Alloy Strip for Use in Manufacture of Electrical Connectors or Spring Contacts)<sup>[13]</sup>。

对比ASTM和GB,ASTM铜及铜合金带的弯曲性能标准体系针对性强于GB,具体对比见表1。从铜及铜合金带的弯曲性能标准体系来看,ASTM更加完善、科学,在适用材料和适用厚度上已经充分考虑。根据铜及铜合金的特性,GB可以制定专用的铜及铜合金带的弯曲试验标准。

表1 铜及铜合金带弯曲试验标准体系对比

对比项目	ASTM	GB
适用材料	铜及铜合金	金属材料(黑色及有色)
适用厚度	0.076 mm~0.79 mm	所有厚度
针对性	强	弱

### 1.2 试验原理对比分析

ASTM B820和GB/T 15825.5试验都采用一系列具有不同底部弧面半径的凸模(或不同厚度的垫模),将试样按照90度或180度的角度弯曲成形后,检查其变形区

外侧表面,将该表面不产生裂纹或显著凹陷的最小相对弯曲半径作为金属薄板或铜带的弯曲成形性能指标<sup>[8,10]</sup>。

GB/T232试验是以圆形、方形、矩形或多边形横截面试样在弯曲装置上经受弯曲塑性变形,不改变加力方向,直至达到规定的弯曲角度<sup>[7]</sup>。

对比ASTM和GB,ASTM B820与GB/T15825.5试验原理相似,GB铜及铜合金带引用的弯曲试验标准GB/T232不能直接测试出铜及铜合金带的弯曲成形性能极限。具体对比见表2。

表2 铜及铜合金带弯曲试验原理对比

对比项目	ASTM B 820-14a	GB/T 15825.5-2008	GB/T 232-2010
测试项目	最小相对弯曲半径	最小相对弯曲半径	弯曲角度
弯曲角度	规定90度或180度	规定90度或180度	测试内容
是否测试出弯曲极限	可直接测试	可直接测试	偶尔测试

### 1.3 取样对比分析

#### 1.3.1 取样方向

经过国内外研究和实践证明,铜及铜合金带材纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)的弯曲性能存在差异<sup>[14-16]</sup>。铜及铜合金带的纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)定义如图1所示<sup>[15]</sup>。

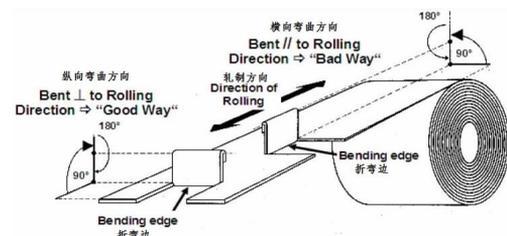


图1 铜及铜合金带的纵向、横向弯曲定义图

ASTM B820和GB/T 15825.5都定义了取样方向。ASTM B820要求纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)都需要取样;GB/T15825.5要求横向弯曲方向(Bad Way)取样,有特殊要求时,可增加取样方向。

GB/T232规定样胚的切取位置和方向应按照相关产品标准的要求,没有明确定义取样方向。而相关标准GB/T 2059-2008《铜及铜合金带材》对于取样方向是任意选取,只有最新的YS/T 1041-2015《汽车端子连接器用铜及铜合金带》要求纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)都需要取样。

### 1.3.2 取样正、反面

ASTM 和 GB 中,仅 GB/T 15825.5 要求对材料的正、反面进行标注并进行同等数量测试。这一点,GB/T 15825.5 比 ASTM B820 和 GB/T232 要求更加严谨。

### 1.3.3 取样数量

在同一半径的凸模或垫模规格下,ASTM B820 规定的取样数量为纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)各取样 5 件。如有 1 件不合格,需要重新取样;1 件以上不合格,不能重新取样。GB/T 15825.5 规定的取样数量为横向弯曲方向(Bad Way)取样 6 件以上,并按照正、反面各做 3 次有效重复测试。

GB/T232 没有规定取样数量。相关标准 GB/T 2059-2008《铜及铜合金带材》规定取样数量是任取 2 卷/批,一个试样/卷。最新的 YS/T1041-2015《汽车端子连接器用铜及铜合金带》规定取样数量是任取 2 卷/批,纵向弯曲(Good Way)和横向弯曲方向(Bad Way)各取样 1 件。

### 1.3.4 取样宽度、长度

ASTM B820 规定的试样宽度为  $12.7 \text{ mm} \pm 1.57 \text{ mm}$  ( $1/2 \pm 1/16 \text{ Inch}$ ),长度为  $12.7 \text{ mm}$  ( $1/2 \text{ Inch}$ )或以上。

GB/T15825.5 规定的试样宽度应大于 10 倍板料基本厚度,但不应小于 20 mm,推荐使用宽度  $50 \text{ mm} \pm 0.5 \text{ mm}$ ,长度  $150 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ 。

GB/T232 规定的试样宽度为  $20 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$  (厚度小于 3 mm)或  $20 \text{ mm} \sim 50 \text{ mm}$  之间(厚度不小于 3 mm),长度没有明确规定。

当试样宽度与厚度比大于 10 时,材料的弯曲性能基本不再随着宽度的变化而变化<sup>[14]</sup>。ASTM B820 和 GB/T15825.5 规定的试样宽度都考虑了这个特性。而 GB/T232 没有考虑这个因素。

对比 ASTM 和 GB,ASTM B820 与 GB15825.5 在弯曲试验取样上各有优缺点,但 GB/T232 存在欠缺。具体对比见表 3。

表 3 铜及铜合金带弯曲试验取样对比

对比项目	ASTM B820 - 14a	GB/T 15825.5 - 2008	GB/T232 - 2010	
			GB/T2059 - 2008	YS/T1041 - 2015
纵向弯曲方向(Good Way)	需要取样	可以取样	任意取样	需要取样
横向弯曲方向(Bad Way)	需要取样	需要取样		需要取样
取样数量	各 5 件,共 10 件	6 件以上	2 件	4 件
取样宽度大于 10 倍厚度	需要	需要	不需要	不需要
正、反面	不需要	需要	不需要	不需要
重新取样条件	只有 1 件不合格	没有定义	有不合格	有不合格

## 1.4 检测判定对比

铜及铜合金带弯曲试验后,ASTM 和 GB 都使用是否出现可见裂纹来检测判定材料弯曲试验合格与否。GB/T232、GB/T2059 及 YS/T1041 规定使用肉眼观察;GB/T15825.5 使用 5X 放大镜下观察;ASTM B820 使用 30X 放大仪器下观察。从严苛程度上对比,GB/T15825.5 比 GB/T232 严格,ASTM B820 比 GB/T15825.5 更严格。2004 年,ASTM 组织将 B820 的放大倍数由 5X 提高到 30X。GB/T15825.5 在 2008 年更新版本时,沿用了 1995 年版本的 5X 的放大倍数观测弯曲

外表面要求。而国内、外电子元件工厂早已经使用显微镜检验产品。

对于弯曲后,弯曲外表面出现的桔皮(Orange Peel)和粗糙表面(Roughened Surface)等现象,ASTM B820 明确表明不能认为是裂纹,并定义了如有裂纹争议,可以使用 150X 金相横截面做进一步判定。GB 在这两个方面都没有明确的规定。

对比 ASTM 和 GB,GB15825.5 比 GB/T232 严格,ASTM B820 比 GB15825.5 更严格。具体对比见表 4。

表 4 铜及铜合金带弯曲试验判定对比

对比项目	ASTM B820 - 14a	GB/T 15825.5 - 2008	GB/T232 - 2010	
			GB/T2059 - 2008	YS/T1041 - 2015
放大仪器倍数	30 倍	5 倍	不使用放大仪器	不使用放大仪器
裂纹争议判定仪器	150 倍金相	没有定义	没有定义	没有定义

## 2 结论

通过对比 ASTM 和 GB 在铜及铜合金带弯曲试验的不同点,得出如下结论:

(1) 针对铜及铜合金带弯曲试验,ASTM 建立了比

GB 更完善、更科学的专用标准体系。

(2) ASTM B820 - 14a 和 GB/T15825.5 - 2008 比 GB/T232 - 2010 更适合测试铜及铜合金带的弯曲性能。

(3) 在铜及铜合金带弯曲性能测试严苛性和适用性上,ASTM B820 - 14a > GB/T15828.5 - 2008 > GB/

T232-2010。使用更严苛标准测试的铜及铜合金带的产品可靠性也越高。

(4) 为了提高我国电子、电气元件及其产品的可靠性和铜带行业的国际竞争力,我国标准组织可借鉴ASTM 优秀部分,尽快制定铜及铜合金带的专用弯曲试验标准。或修订 GB/T15825.5,使其适应金属薄板向更薄发展的趋势,并在相关的铜及铜合金带标准中作为弯曲试验标准引用。

#### 参考文献:

- [1] 兰利亚,李耀群,杨海云,等.铜及铜合金精密带材生产技术[M].北京:冶金工业出版社,2009.
- [2] 姜英,王卫国,郭红.同步改善黄铜 H68 晶界腐蚀行为和力学性能[J].中国有色金属学报,2011,21(2):377-383.
- [3] 钱小兵,陈乐平,周全.铜合金组织细化研究现状[J].铸造技术,2012,33(9):1022-1024.
- [4] 罗检,张勇,钟庆东,等.晶粒度对一些常用金属耐腐蚀性能的影响[J].腐蚀与防护,2012,33(4):349-356.
- [5] 刘润,王军丽,周蕾,等.异步叠轧法制备超细晶铜的组织及性能[J].材料热处理学报,2013,34(3):78-83.
- [6] ISO 7438-2005,Metallic materials-Bend test[S].
- [7] GB/T 232-2010,金属材料弯曲试验方法[S].
- [8] ASTM B820-14a,Standard Test Method for Bend Test for Determining the Formability of Copper and Copper Alloy Strip[S].
- [9] 陈亚军,刘波,王付胜,等.金属材料高温拉伸试验标准对比研究[J].中国测试,2015,34(9):1-5.
- [10] GB/T 15825.5-2008,金属薄板成形性能与试验方法-第5部分:弯曲试验[S].
- [11] GB/T 2059-2008,铜及铜合金带材[S].
- [12] YS/T1041-2015,汽车端子连接器用铜及铜合金带[S].
- [13] ASTM B888/888M-13,Standard Specification for Copper Alloy Strip for Use in Manufacture of Electrical Connectors or Spring Contacts[S].
- [14] 中国机械工程学会塑性工程学会.锻压手册-第2卷:冲压[M].北京:机械工业出版社,2008.
- [15] 涂德华,张鑫.连接器用铜合金带弯曲性能对比研究[J].机电元件,2016,36(4):15-18.
- [16] 易志辉.C2680 黄铜带材弯曲性能的研究[J].铜业工程,2014,34:5-10.

## Comparative Study on Bend Test Standards for Copper and Copper Alloy Strip

TU Dehua<sup>1</sup>, ZHANG Xin<sup>2</sup>

(1. Department of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University Tan Kah Kee College, Zhangzhou 363105, China; 2. Amphenol Commercial Products ( Chengdu ) Co., Ltd., Chengdu 611731, China)

**Abstract:** In order to improve reliability of electronic components and material & increase competitiveness of Chinese copper alloy strip industry in the world, the main difference between ASTM and GB about bend test for copper & copper alloy strip were compared and analyzed. On standard system for bend test for copper & copper alloy strip, ASTM is better than GB. At present, Chinese standards of copper & copper alloy strip GB/ T2059-2008 & YS/T 1041-2015 adopted GB/T232 (*Metallic materials-Bend test*) for whole thickness & whole metallic materials, did not adopt GB/T 15825.5 (*Sheet metal formability and test methods-Part5: Bending test*). On stringency & applicability of bend test for copper & copper alloy strip, GB/T15825.5-2008 is better than GB/T232-2010, and ASTM B820-14a is better than GB/T15825.5-2008. In order to improve the standard level of copper and copper alloy strip, Chinese GB group should make a special standard for bend test for copper & copper alloy strip or update standard system for bend test for copper & copper alloy strip as soon as possible.

**Key words:** copper; bend test; standard; comparison