

YB

中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T 4731—2019

电工钢带(片)反复弯曲试验方法

Reverse bend test method for electrical steel strip and sheet
(IEC TR 63114:2018, IDT)

2019-05-02 发布

2019-11-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准使用翻译法等同采用 IEC TR 63114:2018《电工钢带(片)反复弯曲试验方法》(英文版)。

与本标准中规范性引用的国际文件有一致性对应关系的我国文件如下：

- GB/T 3655 用爱泼斯坦方圈测量电工钢片(带)磁性能的方法(GB/T 3655—2008, IEC 60404-2:1996, IDT)；
- GB/T 235 金属材料 薄板和薄带 反复弯曲试验方法(GB/T 235—2013, ISO 7799:1985, MOD)。

本标准做了下列编辑性修改：

- 删除了 IEC 的前言和目录；
- 增加了检测报告一章；
- 技术报告中“文件”“（技术）报告”等词改为“标准”；
- 删除了引言中的注、第 7 章的注 2 和注 3、第 8 章的注 3 及第 9 章的注。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会(SAC/TC 183)归口。

本标准起草单位：宝山钢铁股份有限公司、上虞市宏兴机械仪器制造有限公司、长沙市天恒测控技术有限公司。

本标准主要起草人：唐灵、沈杰、张关来、周新华、周星。

本标准首次发布。

引 言

国际电工委员会(IEC)相关技术委员会(TC 68)起草本标准文件前,对用反复弯曲试验评价电工钢带(片)(包括取向和无取向)延展性在工业上应用的现状进行了讨论,讨论结果可归结为以下几点:

- 工业上反复弯曲试验广泛用于电工钢延展性的评价,许多产品标准也将该试验的检测结果作为参考性能指标。
- 在实际生产实践中,反复弯曲试验主要采用宽度 30 mm 的爱泼斯坦试样。
- 电工钢产品的国际标准 IEC 60404-8-4^[1]、IEC 60404-8-7^[2]和 IEC60404-8-8^[3]对反复弯曲试验方法引用的是 ISO 7799。该标准规定采用的试样宽度小于爱泼斯坦试样宽度(30 mm),导致爱泼斯坦试样无法满足 ISO 7799 要求。
- 反复弯曲试验有两种方式。方式 A:欧洲通常采用的反复弯曲试验方法,参照 ISO 7799;方式 B:美洲和亚洲通常采用的反复弯曲试验方法,参照 ASTM A720^[4](对无取向材料)和 JIS C2550^[5](另参见参考文献[6],[7])。
- 反复弯曲试验方式 A 和方式 B 在试验装置和试验条件上稍有不同。试验装置差异表现在试样和圆弧形夹具的边部是否存在间隙;试验条件差异表现在是否对试样施加张紧力。在试样弯曲过程中,这些差异可能导致不同的变形机制。
- 通过方式 A 和方式 B 的比对试验,发现使用两种方式会得到不同的检测结果。

基于上述讨论结果,相关技术委员会认为极有必要制定反复弯曲试验方法的标准,尤其是要明确如何在工业实践中恰当地使用电工钢反复弯曲试验的两种方式。

本标准描述了反复弯曲试验的原理及方法的两种方式的技术细节,用于评价电工钢的延展性,方式 A 参照 ISO 7799,方式 B 参照 ASTM A720 和 JIS C2550。

附录 A 给出了一种反复弯曲试验装置的设计实例,可满足两种方式的要求。

附录 B 给出了使用附录 A 描述的试验装置,并分别按方式 A 和方式 B 两种方式,对试样施加不同张紧力获得的检测结果的实例。

电工钢带(片)反复弯曲试验方法

1 范围

本标准规定了电工钢带(片)反复弯曲试验方法的原理、术语和定义、符号和说明、原理、试验装置、试样、试验程序、试验结果及检测报告。

本标准适用于采用爱泼斯坦试样以反复弯曲试验方法评价取向和无取向电工钢带(片)的延展性,试样为未退火状态。

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。

IEC 60404-2 磁性材料 第2部分:用爱泼斯坦方圈法测量电工钢带(片)磁性能的方法(Magnetic materials-Part 2: Methods of measurement of the magnetic properties of electrical steel strip and sheet by means of an Epstein frame)

ISO 7799 金属材料 厚度 3mm 及以下薄板和薄带 反复弯曲试验(Metallic materials-Sheet and strip 3 mm thick or less-Reverse bend test)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

反复弯曲 reverse bend test

将矩形试样一端固定,绕一对表面为圆弧形的模具弯曲 90° ,再沿相反方向重复弯曲,直至试样出现裂纹或断裂。

3.2

弯曲次数 number of bends

试样基板首次出现目视可见裂纹或发生断裂前的反复弯曲次数。

3.3

延展性 ductility

材料的力学性能,用反复弯曲试验得到的弯曲次数表示。

4 符号和说明

IEC 60404-2 和 ISO 7799 给出的符号和说明适用于本文件。

5 原理

对爱泼斯坦试样进行反复弯曲,并记录弯曲次数,以此表征电工钢带(片)的延展性。

6 试验装置

6.1 依据试验装置的不同,可将试验方式分为两类:方式 A 见图 1a),方式 B 见图 1b)。

6.2 各类电工钢产品标准,已规定对任意厚度的试样,无论采用方式 A 还是方式 B,模具表面的圆弧半

径应为 (5.0 ± 0.1) mm。模具工作面宽度应大于试样条的宽度。方式 A 和方式 B 的模具示意图见图 2。

注：附录 A 给出了一种反复弯曲试验装置的实例，可通过更换不同模具实现方式 A 和方式 B 两种方式的反复弯曲试验。

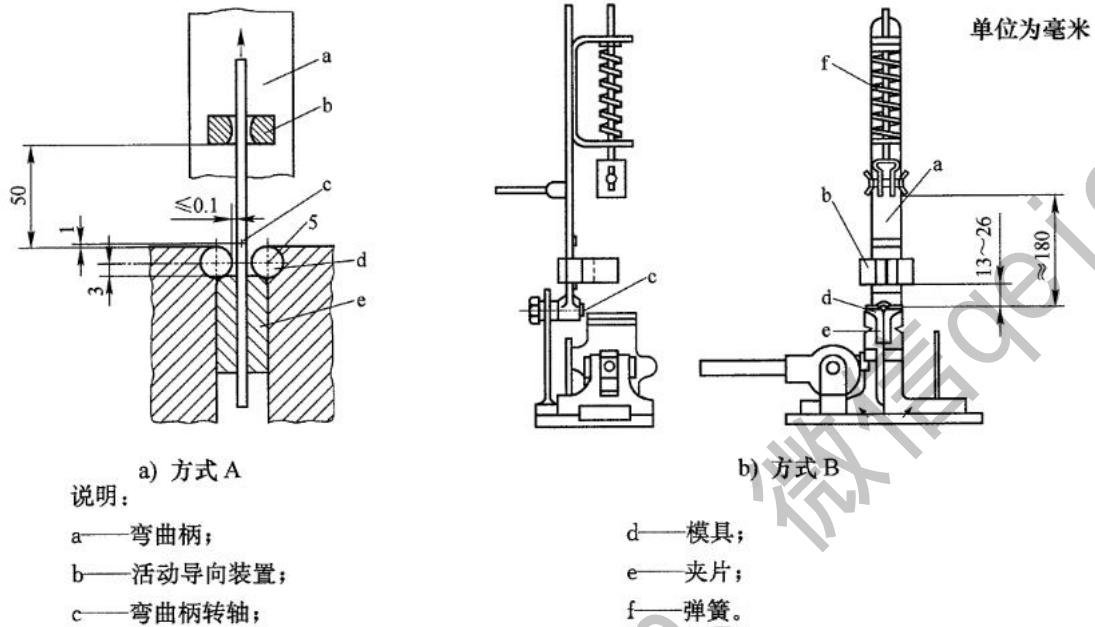


图 1 方式 A 和方式 B 反复弯曲试验装置

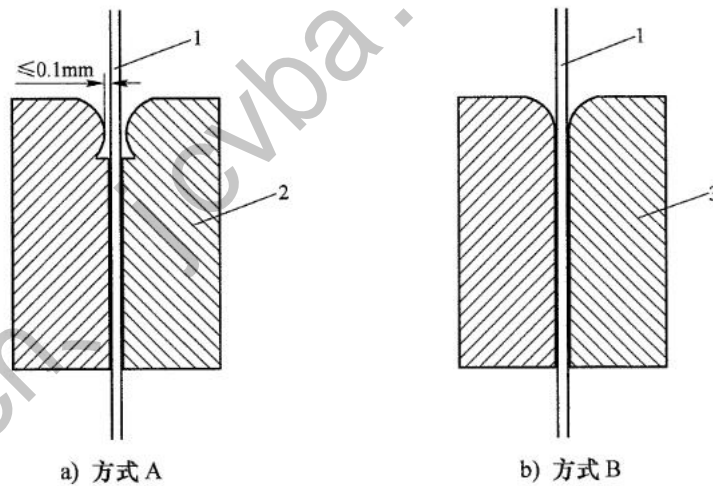


图 2 方式 A 和方式 B 模具示意图

7 试样

7.1 试样应采用满足 IEC 60404-2 要求的爱泼斯坦试样，并应具有以下尺寸：

- 宽度： $b = 30\text{mm} \pm 0.2\text{mm}$ ；
- 长度： $280\text{mm} \leq l \leq 320\text{mm}$ 。

注：ISO 7799 规定试样宽度为 $(20 \sim 25)$ mm。

7.2 依据相关电工钢产品标准,剪切试样时,对无取向电工钢,试样长度方向应垂直于轧制方向;对取向电工钢,试样长度方向应平行于轧制方向。剪切不得造成试样变形。试样表面应无裂痕或污迹,边缘应无明显毛刺。

8 试验程序

8.1 试验应在室温(23±5)℃进行。

8.2 将试样以方式 A 或方式 B 固定在反复弯曲试验装置上(如图 1 所示)。弯曲柄处于竖直状态,夹紧试样下端,试样上端穿过活动导向装置。

8.3 为确保试验过程中,试样与模具圆弧形工作面连续接触,并且弯曲的变形限制在试样的局部区域,宜在试样的长度方向施加一张紧力,推荐采用 70N 的张紧力。

注 1: ISO 7799(方式 A)指出,除非相关产品标准另有规定,推荐施加不超过试样公称抗拉强度相应力值的 2% 的张紧力,以确保试样与模具圆弧形工作面连续接触。文献[4](方式 B)规定,施加足够的张紧力确保弯曲变形限制在试样的局部区域。文献[5](方式 B)规定张紧力为 70N。

注 2: 是否在试样上施加张紧力对弯曲次数有明显影响,特别是对无取向电工钢而言,反复弯曲试验变形机制与张紧力相关。附录 B 给出施加不同张紧力试验结果的实例。

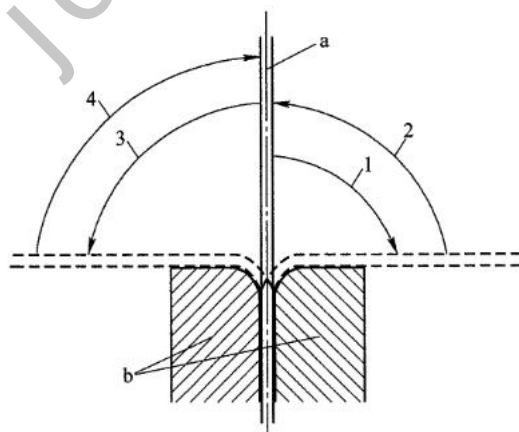
8.4 如图 3 所示,将试样向一侧弯曲 90°后,回到初始位置,再反向弯曲 90°,返回初始位置,进行反复弯曲。弯曲应以每秒不超过 1 次的均匀速率依次连续进行,不得中断。弯曲时应平稳无冲击。

8.5 记录弯曲次数。计数方法:从初始位置开始,试样向一侧弯曲 90°后回到初始位置计为一次弯曲(图 3 中步骤 1 和步骤 2)。再由初始位置开始,试样反向弯曲 90°后回到初始位置记为第二次弯曲(图 3 中步骤 3 和步骤 4)。

8.6 当试样基板首次出现目视可见裂纹时,试验终止。若出现以下任何一种情况也可终止试验:

- a) 尚未出现裂纹,但弯曲次数已达到相关产品标准或合同协议规定的要求;
- b) 试样发生断裂;
- c) 听到表明试样可能出现裂纹的声响,并通过检查确认已出现裂纹。

对于以上 b)和 c)情况,最后一次弯曲不计数。



说明:

- a——试样;
- b——模具;
- 1——开始弯曲;
- 2——回到初始位置,计为一次;
- 3——相反方向弯曲;
- 4——回到初始位置,再计一次。

图 3 反复弯曲计数方法

9 试验结果

除非相关电工钢产品标准另有规定,宜至少采用 2 个试样进行反复弯曲试验,以其中最小的弯曲次数作为试验结果。或者试样尚未出现裂纹,但弯曲次数已符合相关产品标准或合同协议规定的要求,以合格作为试验结果。

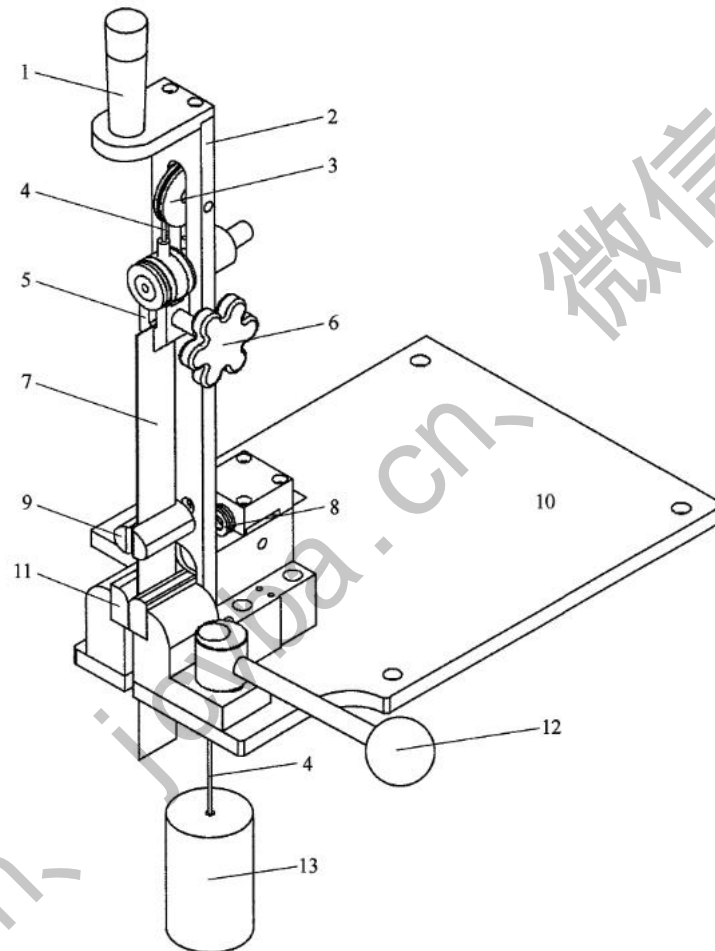
10 检测报告

除非相关方另有约定,检测报告应至少包括以下信息:

- a) 本标准编号;
- b) 试样标识(材质,牌号,试样方向等);
- c) 试验方式(方式 A 或方式 B);
- d) 试验条件(是否施加张紧力,若施加应注明张紧力大小);
- e) 终止试验的判据;
- f) 试验结果。

附录 A
(资料性附录)
一种反复弯曲试验装置的实例

A.1 本附录给出了一种反复弯曲试验装置的设计实例。该装置可通过更换不同模具,满足试验方式 A 和方式 B 的要求。在反复弯曲试验过程中,该装置可利用砝码对试样始终施加恒定的张紧力(见图 A.1)。



说明:

1—把手;

2—弯曲手柄;

3—倒向滑轮;

4—钢绳;

5—夹头;

6—固定钮;

7—试样;

8—导向滑轮;

9—导块;

10—基座;

11—模具;

12—可转动固定柄;

13—砝码。

图 A.1 定制的反反复弯曲试验装置示意图

A.2 反复弯曲试验装置如图 A.1 所示,一片爱泼斯坦试样条的下端用模具以方式 A 或方式 B 固定(如图 2 所示),上端被夹头固定,与夹头连接的钢绳通过弯曲手柄上的一个滑轮导向,与装置下部的砝码相接,对试样施加张紧力。通过来回 90°拨动弯曲柄,对爱泼斯坦试样条进行反复弯曲试验。

附录 B
(资料性附录)

不同条件试验结果的实例

B.1 概述

本附录给出了按方式 A 和方式 B 两种方式,使用附录 A 描述的反复弯曲试验装置,按本标准的规定进行反复弯曲试验结果的实例。

B.2 检测结果

B.2.1 在不同的张紧力条件下,对不同厚度的无取向电工钢和取向电工钢进行了测试。无取向电工钢和取向电工钢的方式 A 和方式 B 测试结果分别如图 B.1 和图 B.2 所示。其中,每个数据点对应 3 次~5 次检测的均值,数据点旁边括弧内的数字分别给出试验中的最大和最小次数。

B.2.2 如图 B.1 所示,不同厚度(0.65mm,0.50mm 和 0.35mm)无取向电工钢方式 A 的反复弯曲试验结果表明,0.50mm 和 0.35mm 的材料随着张紧力的增加,弯曲次数单调降低,但是 0.65mm 材料变化平缓,并有增加的趋势;不同厚度(0.30mm,0.27mm 和 0.23mm)取向电工钢方式 A 的反复弯曲试验结果表明,0.23mm(退火态)的材料随着张紧力的增加,弯曲次数单调降低,但是 0.27mm 和 0.30mm 材料无明显变化趋势。

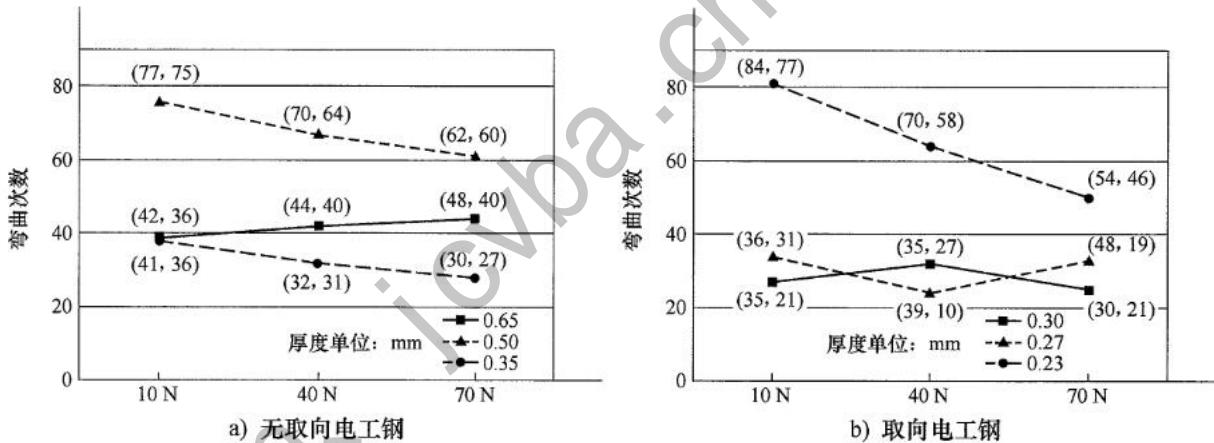


图 B.1 方式 A 的结果

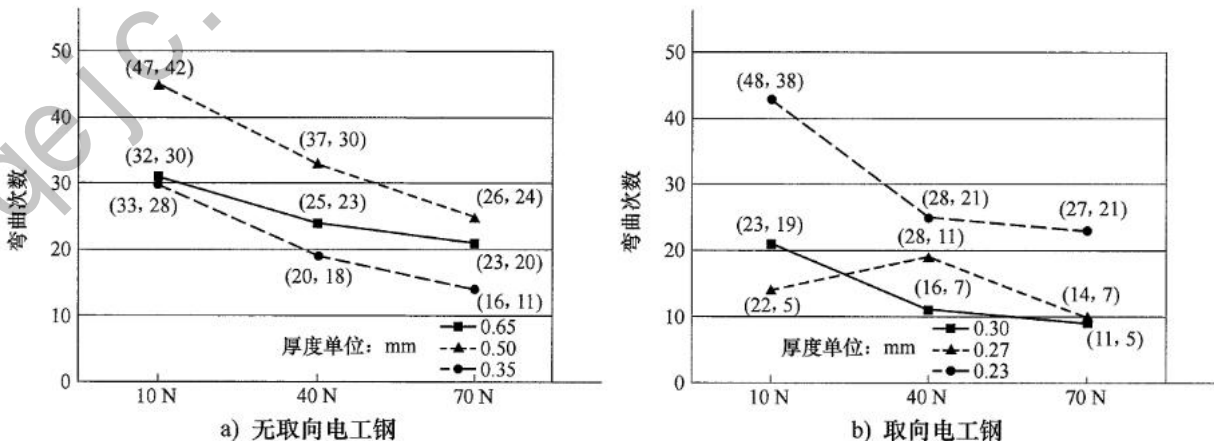


图 B.2 方式 B 的结果

B.2.3 如图 B.2 所示,不同厚度(0.65mm,0.50mm 和 0.35mm)无取向电工钢方式 B 的反复弯曲试验结果表明,随着张紧力的增加,三种厚度的材料弯曲次数都单调降低;不同厚度(0.30mm,0.27mm 和 0.23mm)取向电工钢方式 B 的反复弯曲试验结果表明,0.30mm 和 0.23mm(退火态)的材料随着张紧力的增加,弯曲次数单调降低,但是 0.27mm 材料无明显变化趋势。

B.2.4 无取向电工钢和取向电工钢的反复弯曲试验结果表明方式 A 对应的弯曲次数大于方式 B 对应的弯曲次数。

B.3 试样断裂观察

B.3.1 图 B.3 给出了 0.50mm 无取向电工钢方式 A 和方式 B 不同张紧力的反复弯曲试验后,试样的侧视图。图中的箭头指明裂纹或断裂位置。

B.3.2 当不施加张紧力时(0N),出现了一种极端的情况,弯曲变形不是发生在局部,而是分布在一个较大区域。当施加 10N 张紧力时,弯曲变形的区域比 0N 的情况小。当施加 40N 张紧力时,弯曲变形的区域进一步变小。而施加 70N 张紧力时,弯曲变形完全限制在一个很窄的区域。方式 A 的变形区域比方式 B 大。

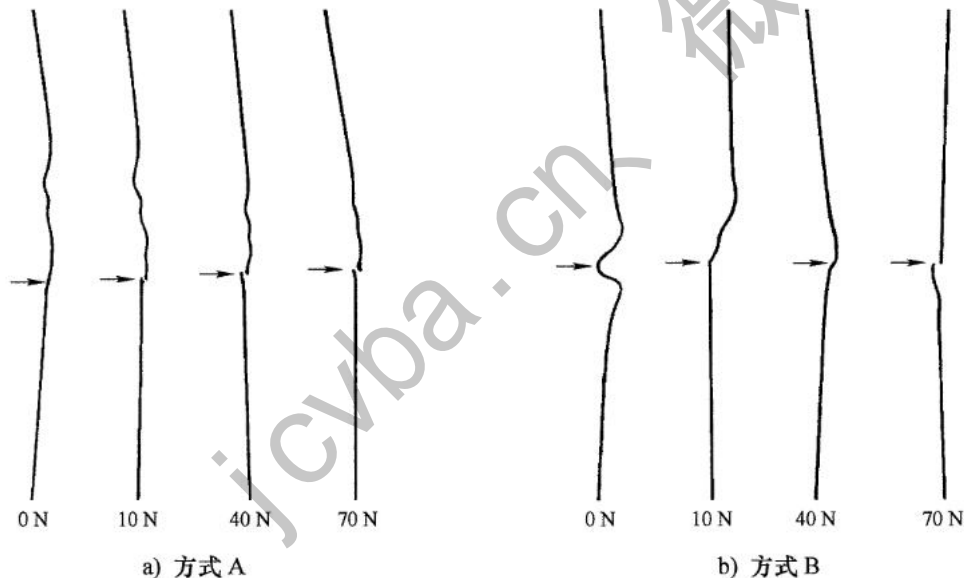


图 B.3 不同张紧力的反复弯曲试验后试样的侧视图

B.4 试验结论

基于上述试验结果和观察,可以得出如下结论:

- 对于无取向电工钢,除 0.65mm 的材料的方式 A 的反复弯曲试验,方式 A 和方式 B 的反复弯曲试验都显示,随着张紧力的增加,弯曲次数下降,但是试验结果也有相反情况出现;这一结果的趋势需要更多不同牌号和厚度的试样的试验验证;
- 弯曲次数与弯曲变形区域的大小有很大关系,变形区域越大,弯曲次数越大;
- 方式 A 对应的弯曲次数大于方式 B 对应的弯曲次数;
- 检测报告中,在给出弯曲次数结果时应指明反复弯曲试验中的张紧力。

参 考 文 献

- [1] IEC 60404-8-4, Magnetic materials-Part 8-4: Specifications for individual materials-Cold-rolled non-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state.
- [2] IEC 60404-8-7, Magnetic materials-Part 8-7: Specifications for individual materials-Cold-rolled grain-oriented electrical steel strip and sheet delivered in the fully-processed state.
- [3] IEC 60404-8-8, Magnetic materials-Part 8: Specifications for individual materials Section 8- Specification for thin magnetic steel strip for use at medium frequencies.
- [4] ASTM A720/A720M-02, Standards test method for ductility of nonoriented electrical steel.
- [5] JIS C2550:2000, Test methods for magnetic steel sheet and strip.
- [6] GB/T 2521.1—2016, 全工艺冷轧电工钢带(片)交货技术条件 第1部分:全工艺冷轧无取向电工钢带(片).
- [7] IS 649:1997, Methods of testing steel sheets for magnetic circuits of power electrical apparatus, with Amendment No. 2, May 2011.

qejc.cn, jcvba.cn, 微信qejc21

中华人民共和国黑色冶金
行业标准
电工钢带(片)反复弯曲试验方法
YB/T 4731—2019

*
冶金工业出版社出版发行
北京市东城区嵩祝院北巷39号
邮政编码:100009
北京建宏印刷有限公司印刷
各地新华书店经销

*
开本 880×1230 1/16 印张 1 字数 23 千字
2019年10月第一版 2019年10月第一次印刷

*
统一书号:155024·1643 定价:30.00元

