



中华人民共和国黑色冶金行业标准

YB/T 5349—2014

代替 YB/T 5349—2006

金属材料 弯曲力学性能试验方法

Metallic materials—Determination of bending mechanical properties

2014-05-06 发布

2014-10-01 实施

中华人民共和国工业和信息化部 发布

目 次

| | |
|--|----|
| 前言 | I |
| 1 范围 | 1 |
| 2 规范性引用文件 | 1 |
| 3 术语和定义 | 1 |
| 4 符号和说明 | 2 |
| 5 原理 | 3 |
| 6 试样 | 3 |
| 7 试样尺寸测量 | 5 |
| 8 试验设备 | 5 |
| 9 试验条件 | 9 |
| 10 性能测定 | 9 |
| 11 试验结果数值的修约 | 12 |
| 12 试验报告 | 13 |
| 附录 A(资料性附录) 真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯强度的测定 | 14 |
| 附录 B(规范性附录) 倒棱修正系数 | 17 |

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准代替 YB/T 5349—2006《金属弯曲力学性能试验方法》，与 YB/T 5349—2006 相比，主要技术变化如下：

——修改了标准的名称及格式，调整了标准结构；

——删除了规范性引用文件中引用的 JJG139、JJG157、JJG475 和 JJG762，增加了引用文件 GB/T 12160 和 GB/T 16825.1，并用 GB/T 4340 替代了原引用的美国标准 ASTM E92（见第 2 章，2006 年版的第 2 章）；

——对个别术语和符号进行了修改（见第 3 章、第 5 章，2006 年版的第 4 章）；

——修改第 7 章原始横截面积的测定方法；

——将 7.3 修改为量具或测量仪器的分辨力；

——将 8.1.5 修改为试验机应定期按 GB/T 16825.1 进行检验；

——修改了表 6 内容；

——将 10.1 修改为弹性部分直线斜率的测定，并对图 5 进行了相应修改；

——修改了表 7；

——修改了附录 A；

——删除了 U_{bb} 的测定；

——删除了分级加载测定抗弯强度；

——删除了附录 C。

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/TC183)归口。

本标准起草单位：钢铁研究总院，冶金工业信息标准研究院。

本标准主要起草人：高怡斐、杜小强、董莉、任翠英。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 14452—1993；

——YB/T 5349—2006。

金属材料 弯曲力学性能试验方法

1 范围

本标准规定了金属弯曲力学性能试验方法的原理、术语和定义、符号和说明、试样、试样尺寸测量、试验设备、试验条件、性能测定、试验结果数值的修约和试验报告。

本标准适用于测定脆性断裂和低塑性断裂的金属材料一项或多项弯曲力学性能。

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,仅所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 2975 钢及钢产品 力学性能试验取样位置和试样制备

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 12160 单轴试验用引伸计的标定

GB/T 16825.1 静力单轴试验机的检验 第1部分 拉力和(或)压力试验机 测力系统的检验与校准

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

跨距 span

L_s

弯曲试验装置上试样两支承点间的距离。

3.2

挠度计标距 deflection meter gauge length

L_e

用挠度计测量试样挠度时挠度计两测点之间的距离。

3.3

力臂 arm

l

四点弯曲试验中弯曲力作用平面或作用线与最近支承点间的距离。

3.4

弯曲力 bending force

F 或 $F/2$

垂直于试样两支承点间连线的横向集中力。

3.5

最大弯曲应力(名义应力) maximum bending stress(nominal stress)

R

弯曲力在试样弯曲外表面产生的最大正应力。

3.6

最大弯曲应变(名义应变) maximum bending strain(nominal strain)

e

弯曲力在试样弯曲外表面产生的最大拉应变。

3.7

弹性部分直线斜率 slope of the linear elasticity portion

m_E

弯曲应力与弯曲应变呈线性比例关系范围内的弯曲应力与弯曲应变之比。

3.8

规定塑性弯曲强度 proof strength, plastic bending

R_{pb}

弯曲试验中试样弯曲外表面上的塑性弯曲应变达到规定值时按弹性弯曲应力公式计算的最大弯曲应力。

注:表示此应力的符号应附以下角标说明,例如 $R_{pb0.2}$ 表示规定塑性弯曲应变达到 0.2% 时的最大弯曲应力。

3.9

规定残余弯曲强度 bending permanent set strength

R_{rb}

对试样施加弯曲力和卸除此力后,试样弯曲外表面上的残余弯曲应变达到规定值时,按弹性弯曲应力公式计算的最大弯曲应力。

注:表示此应力的符号应附以下角标说明,例如 $R_{rb0.2}$ 表示规定残余弯曲应变达到 0.2% 时的最大弯曲应力。

3.10

抗弯强度 bending strength

R_{bb}

试样弯曲至断裂,断裂前所达到的最大弯曲力,按弹性弯曲应力公式计算的最大弯曲应力。

3.11

挠度 deflection

f

试样弯曲时其中性线偏离原始位置的最大距离。

3.12

断裂挠度 fracture deflection

f_{bb}

试样弯曲断裂时的挠度。

4 符号和说明

本标准所采用的符号、说明和单位见表 1。

表 1 符号和说明

| 符 号 | 说 明 | 单 位 |
|----------|----------|-----|
| b | 试样宽度 | mm |
| d | 试样直径 | mm |
| D_s | 支承辊直径 | mm |
| D_a | 施力辊直径 | mm |
| e_{pb} | 规定塑性弯曲应变 | % |

表1 符号和说明(续)

| 符 号 | 说 明 | 单 位 |
|------------|------------------------|-----------------|
| e_{rb} | 规定残余弯曲应变 | % |
| F | 弯曲力 | N |
| ΔF | 弯曲力增量 | N |
| F_0 | 预弯曲力 | N |
| F_{pb} | 规定塑性弯曲力 | N |
| F_{rb} | 规定残余弯曲力 | N |
| F_{bb} | 最大弯曲力 | N |
| F_n | 最后一次施加的弯曲力 | N |
| F_{n-1} | 最后前一次施加的弯曲力 | N |
| f | 挠度 | mm |
| Δf | 挠度增量 | mm |
| f_{bb} | 断裂挠度 | mm |
| f_n | 最后一次施力并将其卸除后的残余挠度 | mm |
| f_{n-1} | 最后前一次施力并将其卸除后的残余挠度 | mm |
| f_{pb} | 规定塑性弯曲挠度 | mm |
| f_{rb} | 规定残余弯曲挠度 | mm |
| h | 试样高度 | mm |
| I | 试样截面惯性矩 | mm ⁴ |
| L | 试样长度 | mm |
| l | 力臂 | mm |
| L_e | 挠度计标距 | mm |
| L_S | 跨距 | mm |
| L_t | 实际力臂 | mm |
| m_E | 弹性直线斜率 ^a | MPa |
| R | 刀刃半径 | mm |
| R_{pb} | 规定塑性弯曲强度 | MPa |
| R_{rb} | 规定残余弯曲强度 | MPa |
| R_{bb} | 抗弯强度 | MPa |
| t | 矩形横截面试样 45°角倒棱宽度 | mm |
| W | 试样截面模数 | mm ³ |
| π | 圆周率(取 5 位有效数字, 3.1416) | — |
| α | 倒棱修正系数 | — |

^a 弯曲应力-弯曲应变曲线弹性直线的斜率,其值不一定能代表弯曲弹性模量值。但如果使用最佳条件(选用高分辨力的挠度计、高准确度的弯矩测量系统,高刚性的弯曲装置等),斜率值能够与弯曲弹性模量值接近一致。

5 原理

采用三点弯曲或四点弯曲方式对圆形或矩形横截面试样施加弯曲力,一般直至断裂,测定其一项或多项弯曲力学性能。

6 试样

6.1 试样形状和尺寸

6.1.1 试验采用圆形横截面试样和矩形横截面试样。试样的形状、尺寸、公差及表面要求应符合相关产品标准或协议的规定。除另有规定外,宜根据材料和产品尺寸从表2或表3中选用合适的试样尺寸。

表 2 试样尺寸 单位为毫米

| 试 样 | d | $h \times b$ | 三点弯曲 | | 四点弯曲 | | D_s, D_a | | | |
|-----------------|-----|--|------------|----------|------------|----------|------------|---------|---------|--|
| | | | L_s | L | L_s | L | | | | |
| 圆形横截面 | 5 | | $\geq 16d$ | L_s+20 | | | 10 | | | |
| | 10 | | | L_s+d | | | 20 或 30 | | | |
| | 13 | | | | | | 30 | | | |
| | 20 | | | | | | | | | |
| | 30 | | | | | | | | | |
| 45 | | | | | | | | | | |
| 矩形横截面 (硬金属用) | | 5×5 5.25×6.5 | 30 14.5 | 35 20 | | | 5 | | | |
| 矩形横截面 | | 5×5 5×7.5 | $\geq 16h$ | L_s+20 | $\geq 16h$ | L_s+20 | 5 | | | |
| | | 10×10 10×15 13×13 13×19.5 | | | | | 10 | | | |
| | | 20×20 20×30 | | | | | | 20 或 30 | | |
| | | 30×30 30×40 | | | | | | | 30 | |
| | | | | | | | L_s+h | | L_s+h | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

表 3 试样尺寸 单位为毫米

| 薄板试样横截面尺寸 | | h | L_s | L | r |
|--------------|---------------|------------------|------------------|---------|-----------|
| 产品宽度 | | | | | |
| ≤ 10 | > 10 | | | | |
| $b \times h$ | $10 \times h$ | 0.25~0.5 | $100h \sim 150h$ | $250h$ | 0.10~0.15 |
| | | $> 0.5 \sim 1.5$ | $50h \sim 100h$ | $160h$ | |
| | | $> 1.5 \sim < 5$ | 80~120 | 110~150 | 2.5 |

- 6.1.2 进行对比试验时,试样横截面形状、尺寸和跨距应相同。
- 6.2 样坯的切取与试样的制备
- 6.2.1 样坯切取的方向和部位应符合相关产品标准或 GB/T 2975 的规定。切取样坯和机加工试样的方法不应改变材料的弯曲力学性能。
- 6.2.2 若相关产品标准或协议未规定时,机加工试样的尺寸公差和形状公差应符合表 4 的规定。形状公差为跨距范围内同一横截面尺寸的最大值与最小值之差。

表 4 试样尺寸公差 单位为毫米

| 试样横截面 尺寸范围 | 非机加工试样 | | 机加工试样 | |
|----------------|-----------|----------|------------|------|
| | 尺寸公差 | 形状公差 | 尺寸公差 | 形状公差 |
| $> 3 \sim 5$ | ± 0.5 | 名义尺寸的 3% | ± 0.05 | 0.03 |
| $> 5 \sim 10$ | ± 1.0 | | ± 0.10 | 0.05 |
| $> 10 \sim 20$ | ± 1.5 | | ± 0.15 | 0.08 |
| $> 20 \sim 45$ | ± 2.0 | | ± 0.20 | 0.10 |

6.2.3 铸造试样是否需要机加工应由相关产品标准或协议规定。对于机加工的试样,其表面粗糙度参数 Ra 的最大值为 $3.2\mu\text{m}$ 。

6.2.4 硬金属试样的四个相邻侧面的表面粗糙度参数 Ra 值的最大值为 $0.4\mu\text{m}$ 。四条长棱应进行 45° 角倒棱,倒棱宽度不应超过 0.5mm 。倒棱磨削机加工方向与试样长度方向相同。

6.2.5 薄板试样的两个宽面应保留原表面,两窄面的机加工表面粗糙度参数 Ra 的最大值一般为 $3.2\mu\text{m}$ 。应去除试样棱边的毛刺。

6.2.6 除非相关产品标准或协议另作规定,其他类型试样在其长度范围内的机加工表面粗糙度参数 Ra 值的最大值为 $0.8\mu\text{m}$ 。

6.2.7 试样应平直。从盘卷切取的薄板试样允许稍有弯曲,但曲率半径与厚度之比应大于 500。不允许对试样进行矫直或矫平。

6.3 试样数量

薄板试样:至少试验 6 个试样,试验时,拱面向上和向下各试验 3 个试样。

圆形、矩形横截面试样:一般每个试验点需试验 3 个试样。

7 试样尺寸测量

7.1 圆形截面尺寸的测量

圆形横截面试样应在跨距中间区域不少于两个横截面上两个相互垂直的方向测量其直径。取直径测量值的算术平均值计算性能值。

7.2 矩形截面尺寸的测量

矩形横截面试样应在跨距的中间区域不少于两个横截面上分别测量其高度和宽度。取测量的高度和宽度平均值。对于薄板试样,高度测量值超过其平均值 2% 的试样应不用于试验。

7.3 量具或测量仪器的分辨力

按表 5 要求选用量具或测量仪器。测量试样尺寸时,应记录至量具或测量仪器分辨力数位。

表 5 量具或测量仪器的分辨力要求

单位为毫米

| 尺寸范围 | 量具或测量仪器分辨力不低于 |
|----------|---------------|
| 0.25~1.0 | 0.001 |
| >1.0~20 | 0.005 |
| >20 | 0.01 |

注:模拟式指示装置的分辨力为标尺分度值的一半。例如,普通千分尺的分度值为 0.01mm ,用此千分尺测量尺寸时可以估读半个分度值,即 0.005mm ,估读这位数算有效数位,这千分尺的分辨力为 0.005mm 。数字式指示装置的分辨力为末位上下跳动 1 个数码。

8 试验设备

8.1 试验机

8.1.1 各类万能试验机和压力试验机均可使用。试验机测力系统的准确度为一级或优于一级。

8.1.2 试验机应能在本标准规定的速度范围内控制试验速度,加卸力应平稳、无振动、无冲击。

8.1.3 试验机应有三点弯曲和四点弯曲试验装置。施力时弯曲试验装置不应发生相对移动和转动。

8.1.4 试验机应配备自动记录或采集弯曲力-挠度曲线数据的装置。

8.1.5 试验机应定期按 GB/T 16825.1 进行检验。

8.2 弯曲试验装置

8.2.1 三点弯曲试验装置

8.2.1.1 两支辊的直径应相同,压头上施力辊的直径宜与支辊的直径相同,辊的直径按表 2 选用。支辊

和施力辊的长度应大于试样直径或宽度。

8.2.1.2 两支辊的轴线应平行,施力辊的轴线应与支辊的轴线平行。

8.2.1.3 施力辊的轴线至两支辊的轴线的距离应相等,偏差不大于 $\pm 0.5\%$ 。见图 1a)。试验时,力的作用方向应垂直于两支辊的轴线所在平面。

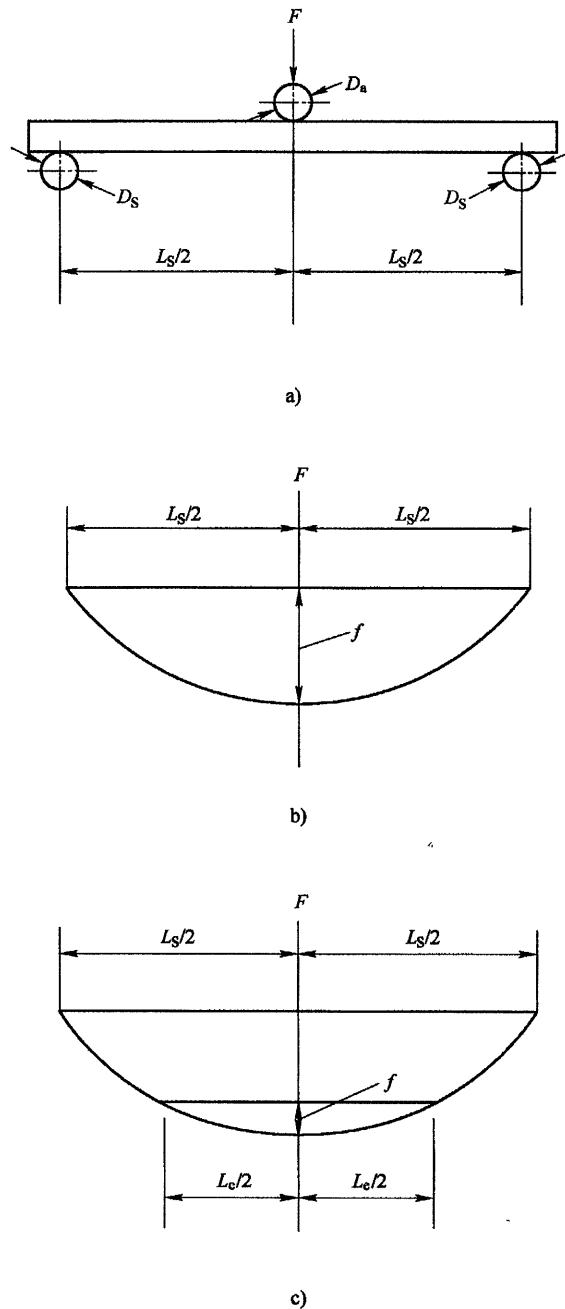


图 1 三点弯曲试验示意图

8.2.1.4 试验时,辊应能绕其轴线转动(相关产品标准或协议另有规定除外),但不发生相对位移。两支辊之间的距离应可调节。应带有指示距离的标记。跨距应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

8.2.1.5 辊的硬度应不低于试样的硬度,其表面粗糙度参数 Ra 最大值一般为 $0.8\mu\text{m}$ 。

8.2.2 四点弯曲试验装置

8.2.2.1 两支辊和两施力辊的直径应分别相同,前者与后者的直径一般相同,按表 2 选用。辊的长度应

大于试样的直径或宽度。

8.2.2.2 两支辊的轴线和两施力辊的轴线应相互平行,前两者所在平面应与后两者所在平面平行。

8.2.2.3 两力臂应相等,且一般不小于跨距的 $1/4$ 。力臂应准确到 $\pm 0.5\%$ 。试验时,两施力辊的力作用方向应垂直于两支辊的轴线所在平面。见图 2。

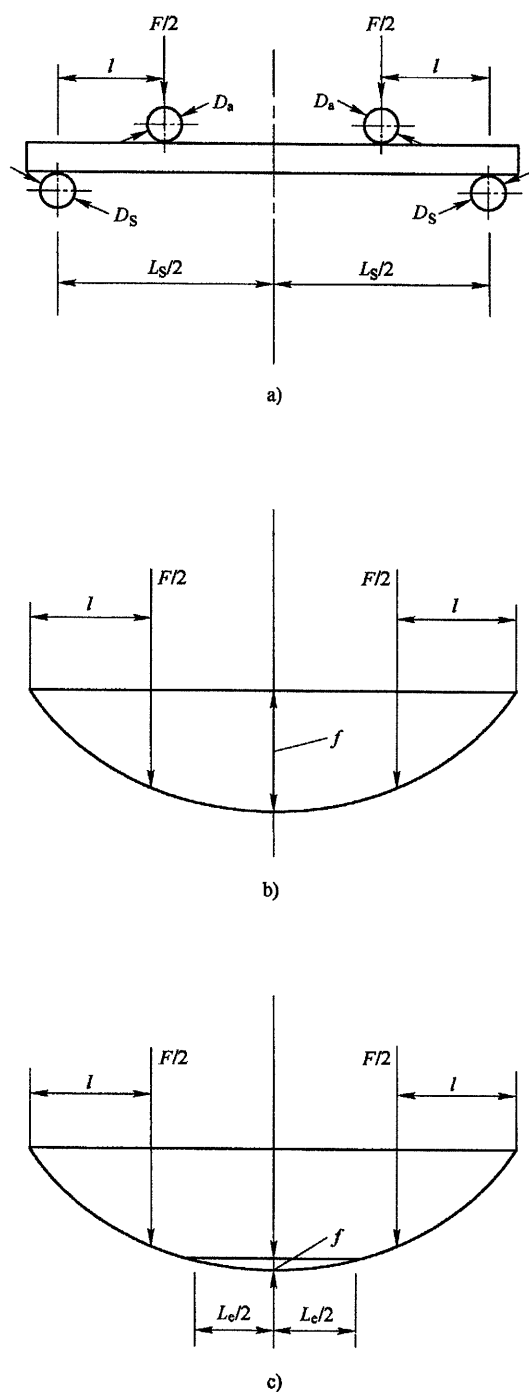


图 2 四点弯曲试验示意图

8.2.2.4 试验时,辊应能绕其轴线转动,但不应发生相对位移。两支辊之间和两施力辊之间的距离应分别可调节。应带有指示距离的标记。跨距应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

8.2.2.5 辊的硬度和表面粗糙度要求同 8.2.1.5。

8.2.3 薄板试样用三点弯曲试验装置

8.2.3.1 支承刀和施力刀的刀刃半径应在 $0.1\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ 范围内,刀刃角度为 $60^\circ\pm 2^\circ$ 。其中一个支承刀刃和施力刀刃均为平直刀刃,刀刃长度应大于试样宽度。另一支承刀刃呈圆拱形,其半径为 $13\text{mm}\pm 1\text{mm}$ 。见图 3。

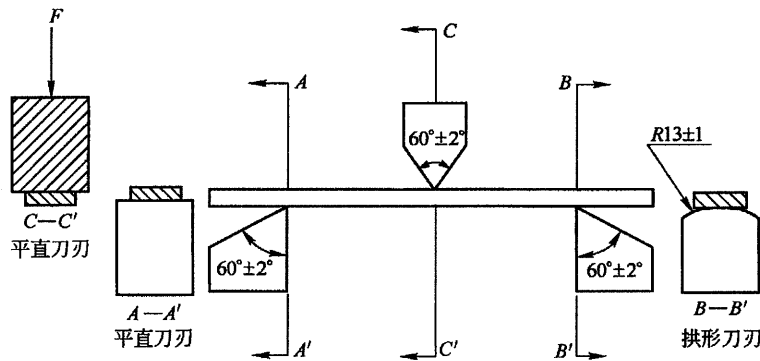


图 3 薄板三点弯曲试验示意图

8.2.3.2 施力刀的刃线应平行于支承刀的刃线,及支承刀的刃线与另一支承点所在平面。施力刀刃的力作用方向应垂直于支承刀的刃线与另一支承点所在平面。

8.2.3.3 施力刀刃应位于两支承刀刃间的中点,最大允许偏差为 $\pm 0.5\%$ 。两支承刀刃之间的距离应可调节,应带有指示距离的标记。跨距应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

8.2.3.4 支承刀和施力刀的硬度应不低于试样的硬度。刀刃表面应光滑。

8.2.4 薄板试样用四点弯曲试验装置

8.2.4.1 两支承刀和两施力刀的刀刃半径应在 $0.10\text{mm}\sim 0.15\text{mm}$ 范围内,刀刃角度为 $60^\circ\pm 2^\circ$ 。其中一施力刀刃呈圆拱形,其半径应为 $13\text{mm}\pm 1\text{mm}$,其余刀刃均为平直刀刃,其刃线的长度应大于试样宽度。见图 4。

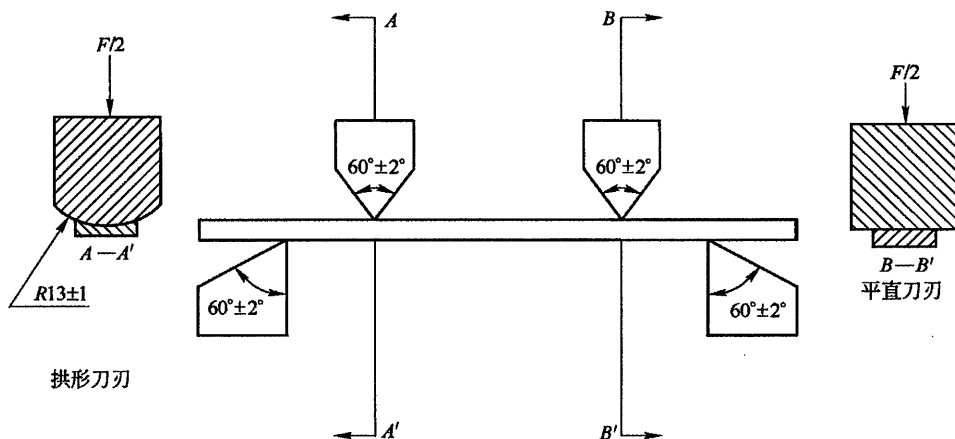


图 4 薄板四点弯曲试验示意图

8.2.4.2 两支承刀的刃线和平直施力刀的刃线应相互平行。平直施力刀的刃线和拱形刀刃的施力点所在平面应平行于两支承刀的刃线所在平面。两力臂应相等,且一般不小于跨距的 $1/6$ 。力臂应准确到 $\pm 0.5\%$ 。试验时,施力刀刃的力作用方向应垂直于两支承刀的刃线所在平面。

8.2.4.3 两施力刀刃之间和两支承刀刃之间的距离均应可调节。应带有指示距离的标记。跨距应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

8.2.4.4 支承刀和施力刀的硬度应不低于试样的硬度。刀刃表面应光滑。

8.3. 挠度计

8.3.1 挠度计位移示值相对误差应符合表 6 的规定。

表 6 挠度计位移示值误差要求

| 性 能 | 挠度计位移示值相对误差 |
|-----------------------|------------------|
| m_E, R_{pb}, R_{cb} | $\leq \pm 1.0\%$ |
| R_{bb}, f_{bb} | $\leq 2.0\%$ |

8.3.2 挠度计标距与其名义值之差不大于 $\pm 0.5\%$ 。

8.3.3 挠度计应定期按 GB/T 12160 进行检定, 检定时的工作状态应尽可能与试验时的工作状态相同。

8.3.4 采用挠度计测量试样挠度时, 挠度计对试样产生的附加弯曲力应尽可能小。

8.4 安全防护罩

试验时应在弯曲试验装置周围装设安全防护罩, 以防试样断裂碎片飞出伤害试验人员。

9 试验条件

9.1 一般弯曲试验应在 $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 室温下进行。

9.2 试验时, 弯曲应力增加速率宜在 $3\text{MPa/s} \sim 30\text{MPa/s}$ 范围内的某个速率下尽量恒定。

10 性能测定

10.1 弹性直线斜率的测定

10.1.1 可以采用三点弯曲试验的图 1b) 或四点弯曲试验的图 2b) 的测量方式(全挠度测量方式)进行测定。试验时对试样连续施加弯曲力, 同时自动记录弯曲力-挠度曲线, 直至超过弹性变形范围。在曲线上读取弹性直线段的弯曲力增量和相应的挠度增量, 见图 5。按公式(1)或公式(2)计算弯曲应力-应变曲线的弹性直线斜率 m_E 。

三点弯曲试验采用图 1b) 测量方式:

$$m_E = \frac{L_s^3}{48I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \dots\dots\dots (1)$$

四点弯曲试验采用图 2b) 测量方式:

$$m_E = \frac{l(3L_s^2 - 4l^2)}{48I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \dots\dots\dots (2)$$

式中的 I 按公式(3)或公式(4)计算:

圆形横截面试样:

$$I = \frac{1}{64} \pi d^4 \dots\dots\dots (3)$$

矩形横截面试样:

$$I = \frac{1}{12} b h^3 \dots\dots\dots (4)$$

10.1.2 可以采用三点弯曲试验的图 1c) 或四点弯曲试验的图 2c) 的测量方式(部分挠度测量方式)。试样对称地安放于弯曲试验装置上, 将挠度计装在试样上, 挠度计标距的端点与最邻近支承点或施力点的距离应不小于试样的高度或直径。对试样连续施加弯曲力, 同时记录弯曲力-挠度曲线, 直至超过弹性变形范围。在记录的曲线图上读取直线段的弯曲力增量和相应的挠度增量, 见图 5。按公式(5)或公式(6)计算弯曲应力-应变曲线的弹性直线斜率 m_E :

三点弯曲试验,采用图 1c)的测量方式:

$$m_E = \frac{L_e^2(3L_s - L_e)}{96I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \dots\dots\dots (5)$$

四点弯曲试验,采用图 2c)的测量方式:

$$m_E = \frac{LL_e^2}{16I} \left(\frac{\Delta F}{\Delta f} \right) \dots\dots\dots (6)$$

注:可以借助直尺的直边直观判定图 5 的最佳弹性直线段,且可以延长最佳弹性直线段,在较大增量范围内,读取弯曲力增量和相应的挠度增量。

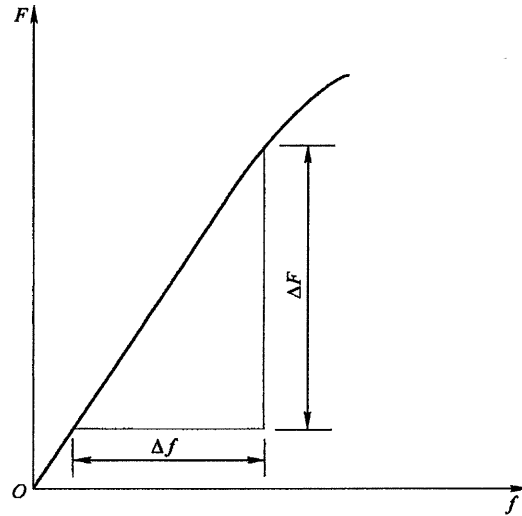


图 5 图解法测定弹性直线段弯曲力增量和挠度增量

10.2 规定塑性弯曲强度的测定

10.2.1 使用图解法进行测定。将试样对称地安放于弯曲试验装置上,对试样连续施加弯曲力,采用自动方法记录弯曲力-挠度曲线。在曲线图的挠度轴上取 C 点,C 点与原点 O 的距离相应于达到规定塑性弯曲应变(e_{pb})时的挠度 f_{pb} 。根据所采用的测量方式, f_{pb} 按公式(7)、公式(8)、公式(10)或公式(11)计算。过 C 点作弹性直线段的平行线 CA 交曲线于 A 点,A 点所对应的力为所测规定塑性弯曲力 F_{pb} ,见图 6。规定塑性弯曲强度按式公式(9)或公式(12)计算:

三点弯曲试验:

采用图 1b)的测量方式时

$$f_{pb} = \frac{L_s^2}{12Y} e_{pb} \dots\dots\dots (7)$$

采用图 1c)的测量方式时

$$f_{pb} = \frac{L_e^2(3L_s - L_e)}{24L_s Y} e_{pb} \dots\dots\dots (8)$$

$$R_{pb} = \frac{F_{pb} L_s}{4W} \dots\dots\dots (9)$$

四点弯曲试验:

采用图 2b)的测量方式时

$$f_{pb} = \frac{3L_s^2 - 4l^2}{24Y} e_{pb} \dots\dots\dots (10)$$

采用图 2c) 的测量方式时

$$f_{pb} = \frac{L_e^2}{8Y} e_{pb} \dots\dots\dots (11)$$

$$R_{pb} = \frac{F_{pb} l}{2W} \dots\dots\dots (12)$$

公式(7)~公式(12)中的 Y 和 W 为:

对于圆形横截面试样:

$$Y = \frac{1}{2} d \dots\dots\dots (13)$$

$$W = \frac{1}{32} \pi d^3 \dots\dots\dots (14)$$

对于矩形横截面试样:

$$Y = \frac{1}{2} h \dots\dots\dots (15)$$

$$W = \frac{1}{6} b h^2 \dots\dots\dots (16)$$

注 1: 用此法测定的规定塑性弯曲强度值与用拉伸试验方法测定的规定塑性延伸强度值不一定相等。

注 2: 测定真实规定塑性弯曲强度值的方法见附录 A。

注 3: 如试样在未达到规定的塑性弯曲应变之前已断裂, 此试样无可测的规定塑性弯曲强度性能。

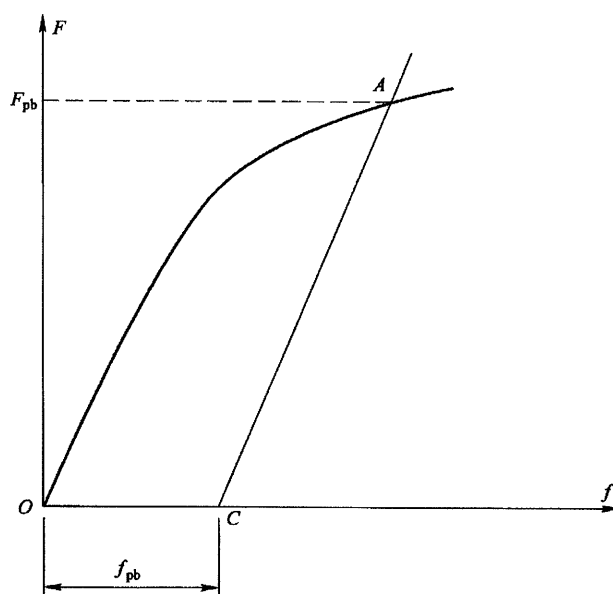


图 6 图解法测定规定塑性弯曲力

10.3 规定残余弯曲强度的测定

将试样对称地安放于弯曲试验装置上, 并对其施加相应于预期 $R_{pb0.2}$ 的 3% 的预弯曲力 F_0 , 测量跨距中点的挠度, 记取此时挠度计的读数作为零点。对试样连续或分级施加弯曲力, 并将其卸除至预弯曲力 F_0 , 测量残余挠度。反复递增施力和卸力, 直至测量的残余挠度达到或稍超过规定残余弯曲应变相应的挠度。用线性内插法按公式(17)求出相应于规定残余弯曲应变的弯曲力 F_{rb} 。

$$F_{rb} = \frac{(f_n - f_{rb})F_{n-1} + (f_{rb} - f_{n-1})F_n}{f_n - f_{n-1}} \dots\dots\dots (17)$$

式中的残余挠度 f_{rb} 按公式(18)或公式(19)计算。

三点弯曲试验,采用图 1b)的测量方式时:

$$f_{rb} = \frac{L_s^2}{12Y} e_{rb} \dots\dots\dots (18)$$

四点弯曲试验,采用图 2b)的测量方式时:

$$f_{rb} = \frac{(3L_s^2 - 4l^2)}{24Y} e_{rb} \dots\dots\dots (19)$$

规定残余弯曲强度按公式(20)或公式(21)计算。

三点弯曲试验:

$$R_{rb} = \frac{F_{rb} L_s}{4W} \dots\dots\dots (20)$$

四点弯曲试验:

$$R_{rb} = \frac{F_{rb} l}{2W} \dots\dots\dots (21)$$

注 1:用此法测定的规定残余弯曲强度值与用拉伸试验方法测定的规定残余延伸强度值不一定相等。

注 2:测定真实规定残余弯曲强度的方法见附录 A。

注 3:如试样在未达到规定的残余弯曲应变之前已断裂,此试样无可测的规定残余弯曲强度性能。

10.4 抗弯强度的测定

将试样对称地安放于弯曲试验装置上,对试样连续施加弯曲力,直至试样断裂。从试验机力指示装置上或从记录的弯曲力-挠度曲线上读取最大弯曲力 F_{bb} ,按公式(22)或公式(23)计算抗弯强度。

三点弯曲试验:

$$R_{bb} = \frac{F_{bb} L_s}{4W} \dots\dots\dots (22)$$

四点弯曲试验:

$$R_{bb} = \frac{F_{bb} l}{2W} \dots\dots\dots (23)$$

注:测定真实抗弯强度的方法参见附录 A。

10.5 断裂挠度的测定

10.5.1 将试样对称地安放于弯曲试验装置上,按图 1b)或图 2b)方式,对试样连续施加弯曲力,直至试样断裂,测量试样断裂瞬间跨距中点的挠度,此挠度即为断裂挠度 f_{bb} 。

注:对比试验时应采用同一试验方式。

10.5.2 测定断裂挠度一般可与测定抗弯强度在同一试验中进行。如果利用试验机横梁位移来测定断裂挠度,应修正由于试验机柔度等因素的影响,除非已经证明其影响可忽略。

10.6 倒棱的修正

硬金属试样按 6.2.4 倒棱后,测定的弹性直线斜率和抗弯强度应按附录 B 进行修正。

10.7 弯曲力学性能自动测定装置的使用

可以使用自动装置,例如微处理机等自动测定标准中所规定的一项或几项弯曲力学性能而无需绘出弯曲力-挠度曲线。

11 试验结果数值的修约

试验结果数值应按照相关产品标准的要求进行修约。如未规定具体要求,应按表 7 的要求,使用 GB/T 8170 规定的方法进行修约。

表 7 数值修约

| 试验材料的弯曲力学性能参量 | 修约间隔 |
|--------------------------|--------|
| m_E | 100MPa |
| R_{pb}, R_{tb}, R_{bb} | 1MPa |
| f_{bb} | 0.1mm |

12 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 本标准编号；
- b) 材料牌号；
- c) 试样类型；
- d) 试样状态；
- e) 弯曲试验方式；
- f) 跨距；
- g) 试验结果。

附 录 A (资料性附录)

真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯强度的测定

A.1 总则

A.1.1 相关产品标准或协议有要求时,可以按照本附录方法进行测定。

A.1.2 对于圆形横截面和矩形横截面试样的弯曲应力(名义应力),10.2至10.4给定的弯曲应力公式对于试样处于弹性弯曲变形状态是准确的。但是,试样横截面是在部分塑性弯曲变形状态,那些公式不再能保持严格准确,弯曲应力会被高估。本附录应用 Nadai 方法测定矩形横截面试样的真实规定弯曲强度和真实抗弯强度。

本附录的方法仅适用于脆性断裂和低塑性断裂金属材料矩形横截面试样,在四点弯曲试验中测定真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯强度。

A.2 术语和定义

A2.1

真实规定塑性弯曲强度 true proof strength plastic bending

R_{tpb}

四点弯曲试验中,矩形横截面试样在跨距中间段弯曲外表面上的塑性弯曲应变达到规定数值时按纳达依(Nadai)表达式计算的最大弯曲应力。

注:表示此应力的符号应附以下角标说明,例如 $R_{tpb0.2}$ 表示规定塑性弯曲应变达到 0.2% 时的真实弯曲应力。

A2.2

真实抗弯强度 true bending strength

R_{tb}

四点弯曲试验中,矩形横截面试样断裂时,按纳达依表达式计算的抗弯强度。

A.3 试样、试样尺寸测量、试验设备和试验条件

试样、试样尺寸测量、试验设备和试验条件的要求分别与第 6 章、第 7 章、第 8 章和第 9 章的规定相同。

A.4 测定方法

A.4.1 图解法测定真实规定塑性弯曲强度

试验时,采用图 2b)或图 2c)的测量方式,自动记录弯曲力-挠度曲线。在曲线图的挠度轴上取 C 点, C 点与坐标原点 O 的距离相应于达到规定塑性弯曲应变(ϵ_{pb})时的挠度 f_{pb} 。根据所采用的测量方式,按照公式(10)或公式(11)计算 f_{pb} 。过 C 点作曲线的弹性直线段的平行线 CA 交曲线于 A 点,以 A 点为切点,过 A 点作曲线的切线 AF_1 并将其延长交力轴于 F_1 ,见图 A.1。读取弯曲力 F_1 和 A 点对应的弯曲力 F_A ,按公式(A.1)计算真实规定塑性弯曲强度:

$$R_{tpb} = \frac{l}{bh^2} (3F_A - F_1) \dots\dots\dots (A.1)$$

A.4.2 图解法测定真实抗弯强度

试验时,采用图 2b)或图 2c)的测量方式,自动记录弯曲力-挠度曲线,直至试样断裂。在曲线图上,以断裂前的最高点 K 为切点作曲线的切线 KF_B 并将其延长交力轴于 F_B ,见图 A.2。读取弯曲力 F_B 和

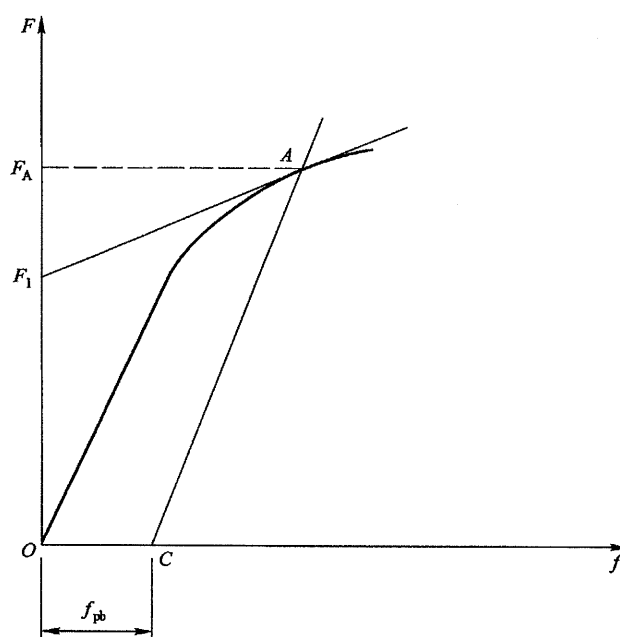


图 A.1 图解法测定真实规定塑性弯曲强度

K 点对应的弯曲力 F_K , 按公式(A. 2)计算真实抗弯曲强度:

$$R_{tbb} = \frac{l}{bh^2} (3F_K - F_B) \dots\dots\dots (A. 2)$$

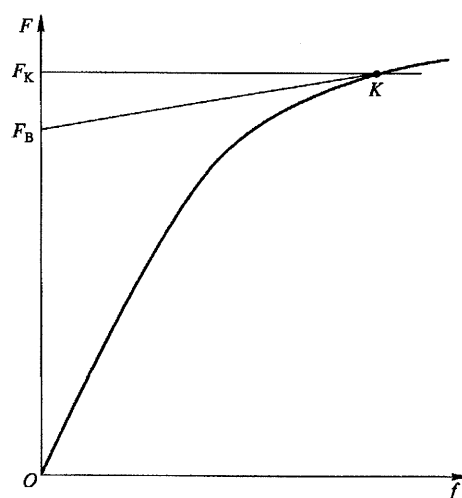


图 A.2 图解法测定真实抗弯强度

A. 4.3 力臂的修正

如需要更精确计算真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯强度时,按公式(A. 3)进行力臂的修正。

$$l_t = l - \frac{1}{2} \left\{ \frac{D_s}{\sqrt{1 + \left[\frac{4E_b I}{Fl(L_s - l)} \right]^2}} + \frac{D_a}{\sqrt{1 + \left[\frac{4E_b I}{Fl(L_s - 2l)} \right]^2}} \right\} \dots\dots\dots (A. 3)$$

注:如果无法获得弯曲模量 E_b , 就可以用 m_E 代替 E_b 。

A.4.4 真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯曲强度的自动测定装置的使用

可以使用自动装置,例如微处理机等自动测定真实规定塑性弯曲强度和真实抗弯强度,而无需绘出弯曲力-挠度曲线。

A.4.5 试验结果数值的修约

试验结果数值的修约要求与第 11 章中表 7 对规定塑性弯曲强度和抗弯强度的修约规定相同。

附 录 B
(规范性附录)
倒棱修正系数

矩形横截面试样的四条长棱经 45°角倒棱后,用试样倒棱前名义横截面尺寸计算弹性直线斜率和弯曲应力(包括抗弯强度)等性能时,其值偏小,应进行修正。修正的方法是将公式(B. 1)计算得的修正系数乘以用名义横截面尺寸计算的性能值。

$$\alpha = \frac{1}{1 - \left\{ \frac{3}{4} \left(\frac{h}{b} \right) - \left[\left(\frac{h}{b} \right) - \sqrt{2} \left(\frac{t}{b} \right) \right] + \frac{1}{4} \left(\frac{h}{b} \right) \left[1 - \sqrt{2} \left(\frac{t}{h} \right) \right]^4 \right\}} \dots\dots\dots (\text{B. 1})$$

中华人民共和国黑色冶金
行 业 标 准
金属材料 弯曲力学性能试验方法
YB/T 5349—2014

*

冶金工业出版社出版发行
北京北河沿大街嵩祝院北巷39号
邮政编码:100009
北京七彩京通数码快印有限公司印刷
各地新华书店经销

*

开本 880×1230 1/16 印张 1.5 字数 39 千字
2014 年 9 月第一版 2014 年 9 月第一次印刷

*

统一书号:155024·0608 定价:45.00 元