

# 中华人民共和国国家标准

GB/T 5028—2008  
代替 GB/T 5028—1999

## 金属材料 薄板和薄带 拉伸应变硬化指数( $n$ 值)的测定

Metallic materials—Sheet and strip—Determination  
of tensile strain hardening exponent

(ISO 10275:2007, MOD)

2008-12-06 发布

2009-10-01 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

本标准修改采用国际标准 ISO 10275:2007《金属材料 薄板和薄带 拉伸应变硬化指数( $n$ 值)的测定》(英文版)。

本标准对国际标准 ISO 10275:2007 在如下方面进行了修改:

- a) 规范性引用文件按对应的国家标准作了变更;
- b) 删除了国际标准的附录 A;
- c) 删除了国际标准的参考文献;
- d) 删除了国际标准表 1 中的注 1;
- e) 对 ISO 10275:2007 中 7.5 的内容进行了补充和完善:在 7.5.1 中规定了方法 A,增加了注 2。在 7.5.2 中新增加方法 B,并增加一个注。

为了便于使用,本标准还做了如下编辑性修改:

- a) “本国际标准”一词改为“本标准”;
- b) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”;
- c) 删除了国际标准的前言。

本标准代替 GB/T 5028—1999《金属薄板和薄带拉伸应变硬化指数( $n$ 值)试验方法》,对下列主要技术内容作了修改:

- 章节进行了重新安排;
- 删除了试验设备部分条款;
- 删除了试样类型部分条款;
- 用“真实塑性应变”取代原有的“真实应变”概念;
- 标准中新增加了方法 A 计算真实塑性应变,另外规定了方法 B 近似计算真实塑性应变(即未将弹性应变从总应变中扣除,从而保留了 GB/T 5028—1999 中的计算方法, $n$ 值的回归区间采用总工程应变表示。对于钢铁薄板和薄带,如果弹性应变小于总应变的 10%,方法 A 和方法 B 二者所得的测量结果不存在明显差异);
- 修改  $n$  的符号,在下标增加约定塑性(工程)应变范围,如  $n_{2-20/A_g}$  或  $n_{2-A_g}$ ;
- $n$  值修约间隔由 0.005 调整为 0.01;
- 删除了原标准附录 A。

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归口。

本标准起草单位:武汉钢铁(集团)公司、宝山钢铁股份有限公司、攀钢钢铁研究院。

本标准主要起草人:李荣锋、涂应宏、祝洪川、严龙、李和平、张晓华。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为:

GB/T 5028—1985、GB/T 5028—1999。

# 金属材料 薄板和薄带 拉伸应变硬化指数( $n$ 值)的测定

## 1 范围

本标准规定了金属薄板和薄带拉伸应变硬化指数( $n$ 值)的测定方法。

本方法仅适用于塑性变形范围内应力-应变曲线呈单调连续上升的部分(见 7.4)。

如果材料在加工硬化阶段的应力-应变曲线呈锯齿状(如某些 AlMg 合金呈现出的 Portevin-Le Chatelier 锯齿屈服效应),为使所给出的结果具有一定的重复性,应采用自动测量方法(对真实应力-真实塑性应变的对数进行线性回归,见 7.7)。

## 2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均不适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 228 金属材料 室温拉伸试验方法(GB/T 228—2002, eqv ISO 6892:1998)

GB/T 5027 金属材料 薄板和薄带 塑性应变比( $r$ 值)的测定(GB/T 5027—2007, ISO 10113:2006, IDT)

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 12160 单轴试验用引伸计的标定(GB/T 12160—2002, idt ISO 9513:1999)

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(GB/T 16825.1—2002, ISO 7500-1:2004, MOD)

## 3 符号和说明

3.1 本标准使用的符号及说明见表 1。

表 1 符号和说明

符 号	说 明	单 位
$L_e$	引伸计标距	mm
$\Delta L$	引伸计标距部分的瞬时延伸	mm
$L$	引伸计标距部分的瞬时长度 $L=L_e+\Delta L$	mm
$e_p$	测定拉伸应变硬化指数的约定塑性(工程)应变水平(用于单应变量测算方法)	%
$e_{pa}-e_{pb}$	测定拉伸应变硬化指数的约定塑性(工程)应变范围(线性回归方式, $e_{pa}$ : 塑性应变下限, $e_{pb}$ : 塑性应变上限)	%
$S_0$	试样平行长度部分的原始横截面积	mm <sup>2</sup>
$S$	真实横截面积	mm <sup>2</sup>



表 1 (续)

符 号	说 明	单 位
$F$	施加于试样上的瞬时力	N
$R$	应力	MPa
$s$	真实应力	MPa
$e$	真实塑性应变	—
$m_E$	应力-应变曲线弹性部分的斜率	MPa
$n$	拉伸应变硬化指数	—
$C$	强度系数	MPa
$N$	测定拉伸应变硬化指数时的测量点数目	—
$r$	塑性应变比	—
$R_m$	抗拉强度	MPa
$A_e$	屈服点延伸率	%
$A_g$	最大力塑性延伸率	%
$A, B, x, y$	采用人工方式测定 $n$ 值的几个变量	
注: 1 MPa=1 N/mm <sup>2</sup> 。		

3.2 拉伸应变硬化指数( $n$ 值)定义为: 在单轴拉伸应力作用下, 真实应力与真实塑性应变数学方程式中的真实塑性应变指数。此方程可用公式(1)表示:

$$s = C \times e^n \quad \dots\dots\dots(1)$$

3.3 此方程可以转变成公式(2)所示的对数方程:

$$\ln s = \ln C + n \ln e \quad \dots\dots\dots(2)$$

在双对数坐标平面内的直线斜率即为拉伸应变硬化指数。

#### 4 试验原理

试样在均匀塑性变形范围内以规定的恒定速率轴向拉伸变形。用整个均匀塑性变形范围内的应力-应变曲线, 或用均匀塑性变形范围内的应力-应变曲线的一部分计算拉伸应变硬化指数( $n$ 值)。

#### 5 试验设备

5.1 拉伸试验机应满足 GB/T 16825.1 中的 1 级或优于 1 级的要求。试样的夹持方式应符合 GB/T 228 的规定。

5.2 测量标距变化的引伸计的准确度应满足 GB/T 12160 标准中的 2 级或优于 2 级的要求(如果同时根据 GB/T 5027 测定材料的  $r$  值时, 须采用 1 级引伸计)。

5.3 当测量试样平行长度部分的厚度和宽度时, 尺寸测量装置的分辨力应符合 GB/T 228 的规定。

#### 6 试样

6.1 应按照相关产品标准要求取样, 如果产品标准没有规定, 则按照有关各方的协议取样。试样尺寸

公差、形状公差及标记等应符合 GB/T 228 的规定。

6.2 若在测定拉伸应变硬化指数( $n$  值)的同时还需测定塑性应变比( $r$  值),则试样还应符合 GB/T 5027 的要求。

6.3 除非另有规定,试样厚度应是产品的原始厚度。

6.4 试样表面不得有划伤等缺陷。

## 7 试验程序

7.1 试验一般在  $10\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  室温下进行。如要求在控温条件下进行试验,温度应控制在  $(23\pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

7.2 将试样装夹到试验机上(见 5.1),并须保证试样轴向受力以符合 GB/T 228 的规定。

7.3 除非另有标准规定,在塑性变形阶段,试样平行长度部分的应变速率不得超过  $0.008\text{ s}^{-1}$ 。在测定  $n$  值的整个应变区间内,该速率应保持恒定。

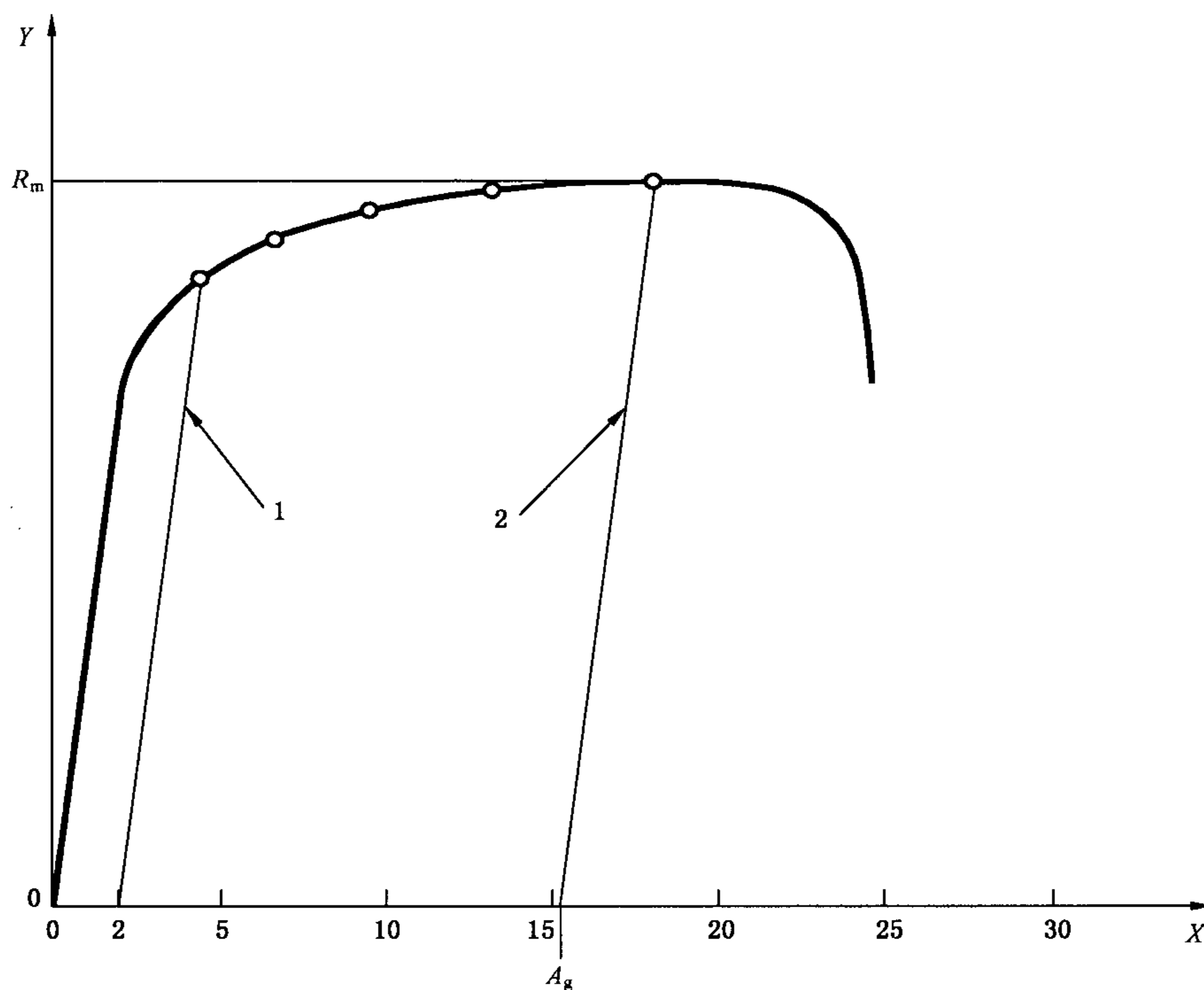
若在测定拉伸应变硬化指数( $n$  值)的同时还需测定规定塑性延伸强度、屈服强度等性能时,试验速率还应满足 GB/T 228 中的相关规定。

7.4 当在整个均匀塑性应变范围内测定  $n$  值时,测量应变的上限应稍小于最大力所对应的塑性应变。

当材料呈现单调上升的均匀变形行为(即材料无明显上、下屈服)时,测量应变的下限应稍大于测定  $R_m$  的试验速率切换点对应的应变量,见图 1。

当材料呈现明显屈服(即材料有上、下屈服强度)时,测量应变的下限应稍大于加工硬化起始点和测定  $R_m$  的试验速率切换点对应的应变量,见图 2 和图 3。

测量应变的上、下限应在报告中注明。



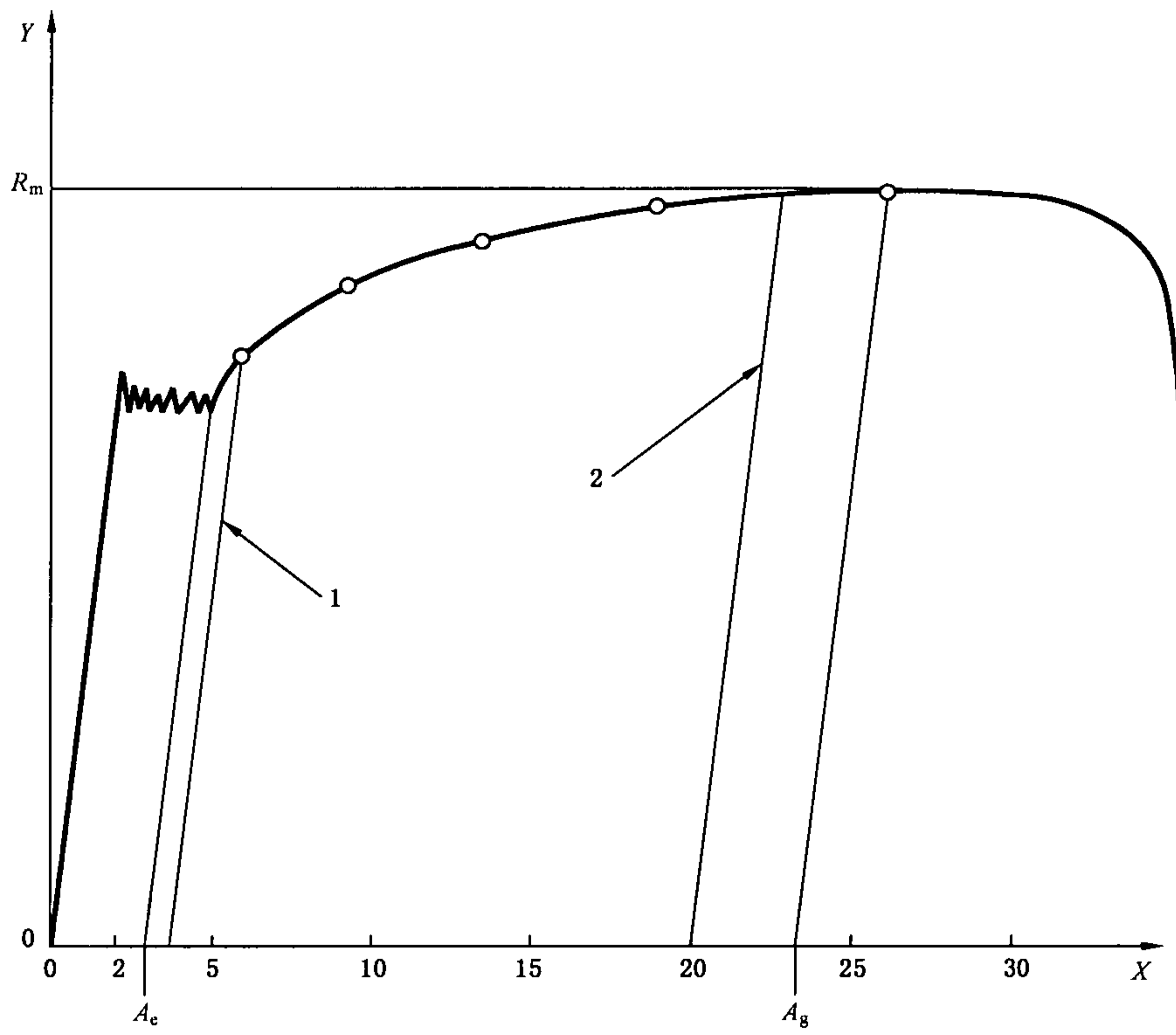
X——应变, %;

Y——应力;

1——下限;

2——上限。

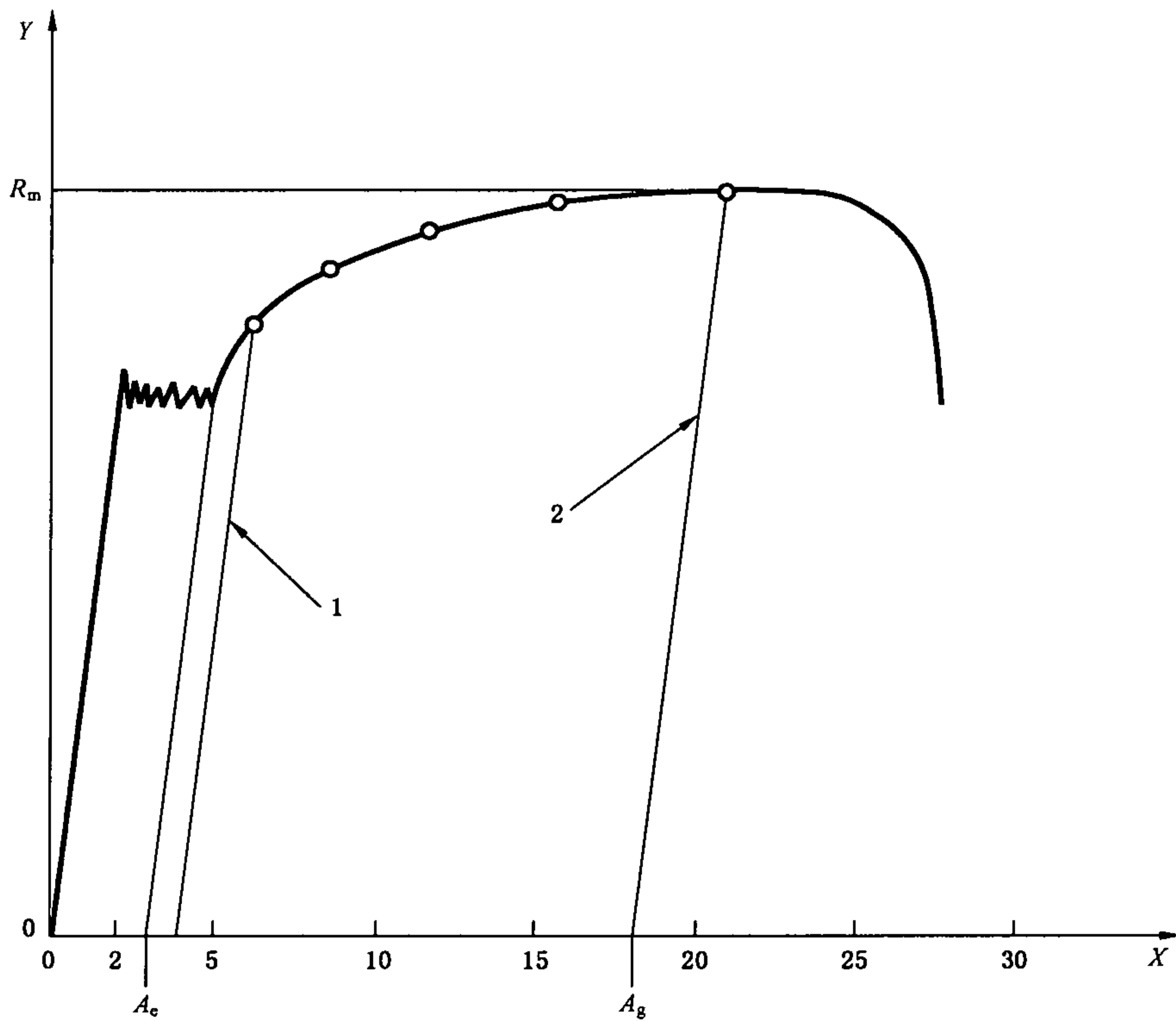
图 1  $n_{2-20/A_g}$  或  $n_{2-A_g}$  应变取值范围



X—应变, %;  
Y—应力;

1—下限;  
2—上限。

图2  $n_{4-20/A_2}$  或  $n_{4-20}$  应变取值范围



X—应变, %;  
Y—应力;

1—下限;  
2—上限。

图3  $n_{4-20/A_2}$  或  $n_{4-A_2}$  应变取值范围



7.5 根据试验力和相应的变形值,采用公式(3)计算真实应力:

$$s = \frac{F}{S_0} \times \frac{L_e \times \Delta L}{L_e} \dots\dots\dots(3)$$

7.5.1 方法 A: 采用公式(4)计算真实塑性应变:

$$e = \ln\left(\frac{L_e + \Delta L}{L_e} - \frac{F}{S_0 \times m_E}\right) \dots\dots\dots(4)$$

注 1: 从严格的物理意义讲,计算真实塑性应变时,公式(4)中的  $S_0$  应采用由公式(5)计算获得的真实横截面积  $S$ ,而不能采用试样的原始横截面积  $S_0$ ,但实践证明采用  $S_0$  或  $S$  所获得的测量结果不存在明显差异。因此为了减少计算的复杂性,在公式(4)中可以采用试样的原始横截面积  $S_0$ 。

注 2: 如果材料的应力-应变曲线弹性部分不能明确地确定,则  $m_E$  可以采用该材料的弹性模量的公称值。

$$S = \frac{S_0 \times L_e}{L_e + \Delta L} \dots\dots\dots(5)$$

7.5.2 方法 B: 采用公式(6)近似计算真实塑性应变:

$$e = \ln\left(\frac{L_e + \Delta L}{L_e}\right) \dots\dots\dots(6)$$

注: 本方法未将弹性应变从总应变中扣除。

7.6 如果采用人工测量方式,应在需要考察的应变范围内,至少取以几何级数分布的 5 个应变数据点(见图 1),再根据 3.3 所给出的公式(2)采用最小二乘法来计算拉伸应变硬化指数。公式(2)也可用公式(7)表示:

$$y = Ax + B \dots\dots\dots(7)$$

式中:

$$y = \ln s$$

$$x = \ln e$$

$$A = n$$

$$B = \ln C$$

据此,可以导出计算拉伸应变硬化指数( $n$  值)的关系式[见式(8)]:

$$n = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N x_i\right)^2} \dots\dots\dots(8)$$

7.7 如果采用自动测量方式,可以使用自动拉伸试验机 and 数据处理程序直接得到拉伸应变硬化指数。

$n$  值通过采用对真实应力的对数和真实塑性应变的对数进行线性回归的方法来获得,回归区间用塑性应变表示,范围至少为 2%。对于同一试验,可测定不同回归区间的  $n$  值。

示例:

$n_{4-6}$ : 线性回归  $\ln s = n \times \ln e + \ln C$ , 回归区间为 4%~6%;

$n_{10-15}$ : 线性回归  $\ln s = n \times \ln e + \ln C$ , 回归区间为 10%~15%;

$n_{10-20/A_g}$ : 线性回归  $\ln s = n \times \ln e + \ln C$ , 回归区间为 10%~20%, 如果  $A_g < 20\%$ , 则用  $n_{10-A_g}$  表示;

$n_{2-20/A_g}$ : 线性回归  $\ln s = n \times \ln e + \ln C$ , 回归区间为 2%~20%, 如果  $A_g < 20\%$ , 则用  $n_{2-A_g}$  表示。

如果回归区间的范围已被限定(例如  $n_{10-15}$ ), 而此时  $A_g$  低于该区间的上限, 则无法给出  $n$  值。

对于某些已知的遵循幂乘关系硬化规律[公式(1)]的材料, 确定  $n$  值时至少需取 2 个应变数据点。

7.8 拉伸应变硬化指数( $n$  值)应按 GB/T 8170 的规定修约到 0.01。

注: 计算和绘制瞬时应变硬化率-应变关系曲线也是有意义的。

## 8 试验报告

试验报告应包括以下内容：

- a) 本标准的编号；
  - b) 试验材料的说明；
  - c) 采用的试样类型；
  - d) 测定拉伸应变硬化指数时的均匀应变范围(见 7.7 中示例)和采用的计算方法(见 7.5)；
  - e) 如果采用人工测量方式,需注明测定拉伸应变硬化指数时的测量点数；
  - f) 采用的方法(人工测量或自动测量)；
  - g) 试验结果；
  - h) 对本标准所规定条件的任何偏离。
-



中华人民共和国  
国家标准  
金属材料 薄板和薄带  
拉伸应变硬化指数( $n$ 值)的测定  
GB/T 5028—2008

\*

中国标准出版社出版发行  
北京复兴门外三里河北街16号  
邮政编码:100045

网址 [www.spc.net.cn](http://www.spc.net.cn)

电话:68523946 68517548

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 0.75 字数 13 千字  
2009年3月第一版 2009年3月第一次印刷

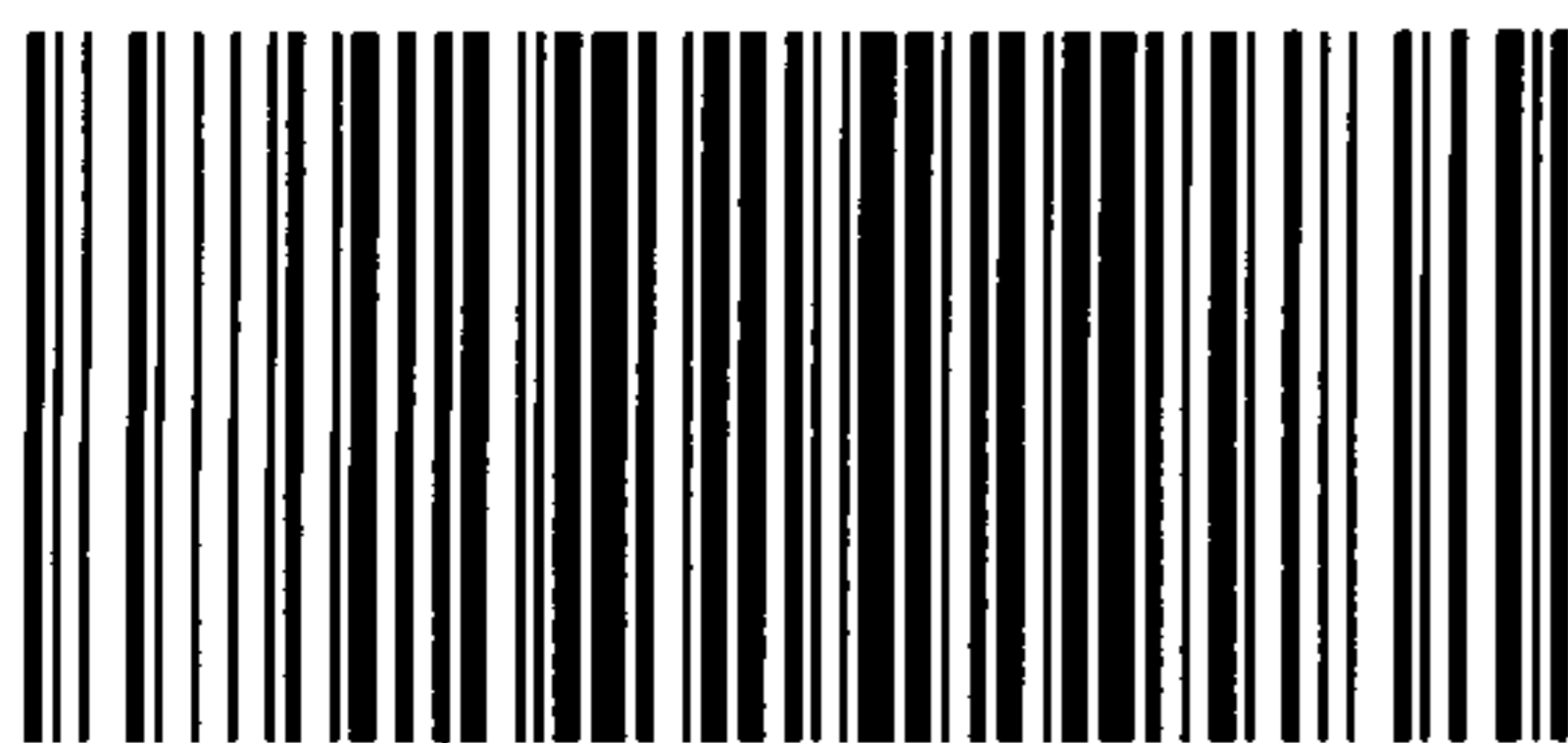
\*

书号: 155066·1-35815 定价 14.00 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)68533533



GB/T 5028-2008