



# 中华人民共和国国家标准

GB/T 228.1—2010  
代替 GB/T 228—2002

## 金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法

Metallic materials—Tensile testing—  
Part 1: Method of test at room temperature

(ISO 6892-1:2009, MOD)

2010-12-23 发布

2011-12-01 实施



中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局  
中国国家标准化管理委员会

发布

## 目 次

前言 .....	III
引言 .....	V
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 .....	8
5 原理 .....	9
6 试样 .....	9
7 原始横截面积的测定 .....	11
8 原始标距的标记 .....	11
9 试验设备的准确度 .....	11
10 试验要求 .....	11
11 上屈服强度的测定 .....	14
12 下屈服强度的测定 .....	14
13 规定塑性延伸强度的测定 .....	15
14 规定总延伸强度的测定 .....	16
15 规定残余延伸强度的验证和测定 .....	16
16 屈服点延伸率的测定 .....	16
17 最大力塑性延伸率的测定 .....	17
18 最大力总延伸率的测定 .....	17
19 断裂总延伸率的测定 .....	18
20 断后伸长率的测定 .....	18
21 断面收缩率的测定 .....	19
22 试验结果数值的修约 .....	19
23 试验报告 .....	19
24 测量不确定度 .....	19
附录 A (资料性附录) 计算机控制拉伸试验机使用的建议 .....	26
附录 B (规范性附录) 厚度 0.1 mm~<3 mm 薄板和薄带使用的试样类型 .....	31
附录 C (规范性附录) 直径或厚度小于 4 mm 线材、棒材和型材使用的试样类型 .....	33
附录 D (规范性附录) 厚度等于或大于 3 mm 板材和扁材以及直径或厚度等于或大于 4 mm 线材、棒材和型材使用的试样类型 .....	34
附录 E (规范性附录) 管材使用的试样类型 .....	37
附录 F (资料性附录) 考虑试验机刚度(或柔度)后估算的横梁位移速率 .....	40

附录 G (资料性附录) 断后伸长率低于 5% 的测定方法 .....	41
附录 H (资料性附录) 移位法测定断后伸长率 .....	42
附录 I (资料性附录) 棒材、线材和条材等长产品的无缩颈塑性伸长率 $A_{u0.2}$ 的测定方法 .....	43
附录 J (规范性附录) 逐步逼近方法测定规定塑性延伸强度 ( $R_p$ ) .....	44
附录 K (资料性附录) 卸力方法测定规定残余延伸强度 ( $R_{m,2}$ ) 举例 .....	46
附录 L (资料性附录) 拉伸试验测量结果不确定度的评定 .....	47
附录 M (资料性附录) 拉伸试验的精密度——根据实验室间试验方案的结果 .....	56
参考文献 .....	61

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

GB/T 228《金属材料 拉伸试验》分为以下四个部分：

- 第 1 部分：室温试验方法；
- 第 2 部分：高温试验方法；
- 第 3 部分：低温试验方法；
- 第 4 部分：液氮试验方法。

本部分为 GB/T 228 的第 1 部分。

本部分修改采用国际标准 ISO 6892-1:2009《金属材料 拉伸试验 第 1 部分：室温试验方法》(英文版)。

本部分的整体结构、层次划分、编写方法和技术内容与 ISO 6892-1:2009 基本一致。

本部分对国际标准在以下方面进行了修改和补充，并在正文中它们所涉及的条款的页边空白处用垂直单线标识：

- 在规范性引用文件中，本部分直接引用与国际标准相对应的我国国家标准；
- 增加了规范性引用文件 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》和 GB/T 22066《静力单轴试验机用计算机数据采集系统的评定》；
- 将第 7 章中原始横截面积三次测量的最小值改为平均值；
- 在第 12 章中增加了对于上、下屈服强度位置判定的基本原则；
- 增加了第 22 章“试验结果数值的修约”；
- 增加了规范性附录 J 逐步逼近方法测定规定塑性延伸强度( $R_p$ )；
- 增加了资料性附录 K 卸力方法测定规定残余延伸强度( $R_{0.2}$ )举例；
- 对于附录 B、附录 C、附录 D 和附录 E 中比例试样和非比例试样的细节描述进行了相应修改；
- 修改了测量不确定度的评定方法，形成附录 L 拉伸试验测量结果不确定度的评定。

为便于使用，本部分还做了下列编辑性修改：

- a) “本部分国际标准”一词改为“本部分”；
- b) 用小数点“.”代替作为小数点的逗号“,”；
- c) 删除了国际标准前言。

本部分代替 GB/T 228—2002《金属材料 室温拉伸试验方法》，本部分对原标准在以下方面的技术内容进行了较大修改和补充：

- 修改了标准名称；
- 规范性引用文件；
- 增加了试验速率的控制方法：方法 A 应变速率控制方法；
- 试验结果数值的修约；
- 拉伸试验测量不确定度的评定方法；
- 增加了资料性附录 A 计算机控制拉伸试验机使用时的建议；
- 增加了资料性附录 F 考虑试验机刚度(或柔度)后估算的横梁位移速率。

本部分的附录 A、附录 F、附录 G、附录 H、附录 I、附录 K、附录 L、附录 M 为资料性附录，本部分的附录 B、附录 C、附录 D、附录 E、附录 J 为规范性附录。

本部分由中国钢铁工业协会提出。

本部分由全国钢标准化技术委员会归口。

本部分起草单位：钢铁研究总院、济南试金集团有限公司、冶金工业信息标准研究院、宝钢股份公司、美特斯工业系统中国有限公司、首钢总公司、上海华龙测试仪器有限公司、上海出入境检验检疫局、大连希望设备有限公司、上海材料研究所、北京有色金属研究院。

本部分主要起草人：高怡斐、梁新帮、董莉、孙善焯、李和平、安建平、朱林茂、王萍、卢长城、殷建军、吴益文、王滨、王福生、吴朝晖。

本部分所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 228—1963, GB/T 228—1976, GB/T 228—1987, GB/T 228—2002；

——GB/T 3076—1982；

——GB/T 6397—1986。

## 引 言

本版标准提供了两种试验速率的控制方法。方法 A 为应变速率(包括横梁位移速率),方法 B 为应力速率。方法 A 旨在减小测定应变速率敏感参数时试验速率的变化和减小试验结果的测量不确定度。本部分将来拟推荐使用应变速率的控制模式进行拉伸试验。

# 金属材料 拉伸试验

## 第 1 部分: 室温试验方法

### 1 范围

GB/T 228 的本部分规定了金属材料拉伸试验方法的原理、定义、符号和说明、试样及其尺寸测量、试验设备、试验要求、性能测定、测定结果数值修约和试验报告。

本部分适用于金属材料室温拉伸性能的测定。

注: 附录 A 给出了计算机控制试验机的补充建议。

### 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。

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 2975—1998, eqv ISO 377:1997)

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 10623—2008, ISO 23718:2007, MOD)

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

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—2008, ISO 7500-1:2004, IDT)

GB/T 17600.1 钢的伸长率换算 第 1 部分: 碳素钢和低合金钢(GB/T 17600.1—1998, eqv ISO 2566-1:1984)

GB/T 17600.2 钢的伸长率换算 第 2 部分: 奥氏体钢(GB/T 17600.2—1998, eqv ISO 2566-2:1984)

GB/T 22066 静力单轴试验机用计算机数据采集系统的评定

### 3 术语和定义

GB/T 10623 确立的以及下列术语和定义适用于本部分。

#### 3.1

标距 gauge length

$L$

测量伸长用的试样圆柱或棱柱部分的长度<sup>[1]</sup>。

#### 3.1.1

原始标距 original gauge length

$L_0$

室温下施力前的试样标距<sup>[1]</sup>。

#### 3.1.2

断后标距 final gauge length after fracture

$L_f$

在室温下将断后的两部分试样紧密地对接在一起, 保证两部分的轴线位于同一条直线上, 测量试样

断裂后的标距<sup>[1]</sup>。

3.2

平行长度 parallel length

$L_c$

试样平行缩减部分的长度<sup>[1]</sup>。

注：对于未经机加工的试样，平行长度的概念被两夹头之间的距离取代。

3.3

伸长 elongation

试验期间任一时刻原始标距的增量<sup>[1]</sup>。

3.4

伸长率 percentage elongation

原始标距的伸长与原始标距  $L_0$  之比的百分率<sup>[1]</sup>。

3.4.1

残余伸长率 percentage permanent elongation

卸除指定的应力后，伸长相对于原始标距  $L_0$  的百分率<sup>[1]</sup>。

3.4.2

断后伸长率 percentage elongation after fracture

$A$

断后标距的残余伸长 ( $L_u - L_0$ ) 与原始标距 ( $L_0$ ) 之比的百分率<sup>[1]</sup>。

注：对于比例试样，若原始标距不为  $5.65 \sqrt{S_0}$ <sup>1)</sup> ( $S_0$  为平行长度的原始横截面积)，符号  $A$  应附以下脚注说明所使用的比例系数，例如， $A_{11.3}$  表示原始标距为  $11.3 \sqrt{S_0}$  的断后伸长率。对于非比例试样，符号  $A$  应附以下脚注说明所使用的原始标距，以毫米 (mm) 表示，例如， $A_{80\text{ mm}}$  表示原始标距为 80 mm 的断后伸长率。

3.5

引伸计标距 extensometer gauge length

$L_g$

用引伸计测量试样延伸时所使用引伸计起始标距长度<sup>[1]</sup>。

注：对于测定屈服强度和规定强度性能，建议  $L_g$  应尽可能跨越试样平行长度。理想的  $L_g$  应大于  $L_0/2$  但小于约  $0.9L_0$ 。这将保证引伸计检测到发生在试样上的全部屈服。最大力时或在最大力之后的性能，推荐  $L_g$  等于  $L_0$  或近似等于  $L_0$ ，但测定断后伸长率时  $L_g$  应等于  $L_0$ 。

3.6

延伸 extension

试验期间任一给定时刻引伸计标距  $L_g$  的增量<sup>[1]</sup>。

3.6.1

延伸率 percentage extension 或“strain”

用引伸计标距  $L_g$  表示的延伸百分率

3.6.2

残余延伸率 percentage permanent extension

试样施加并卸除应力后引伸计标距的增量与引伸计标距  $L_g$  之比的百分率<sup>[1]</sup>。

3.6.3

屈服点延伸率 percentage yield point extension

$A_e$

呈现明显屈服 (不连续屈服) 现象的金属材料的金属材料，屈服开始至均匀加工硬化开始之间引伸计标距的延

1)  $5.65 \sqrt{S_0} = 5 \sqrt{\frac{4S_0}{\pi}}$



3.7

试验速率

3.7.1

应变速率 strain rate

$\dot{\epsilon}_{L_c}$

用引伸计标距  $L_c$  测量时单位时间的应变增加值。

3.7.2

平行长度应变速率的估计值 estimated strain rate over the parallel length

$\dot{\epsilon}_{L_c}$

根据横梁位移速率和试样平行长度  $L_c$  计算的试样平行长度的应变单位时间内的增加值。

3.7.3

横梁位移速率 crosshead separation rate

$v_c$

单位时间的横梁位移。

3.7.4

应力速率 stress rate

$R$

单位时间应力的增加。

注：应力速率只用于方法 B 试验的弹性阶段。

3.8

断面收缩率 percentage reduction of area

$Z$

断裂后试样横截面积的最大缩减量 ( $S_0 - S_u$ ) 与原始横截面积  $S_0$  之比的百分率：

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100$$

3.9

最大力

注：对于显示不连续屈服的金属，如果没有加工硬化作用，在本部分就不定义  $F_m$ 。见图 8c) 的脚注。

3.9.1

最大力 maximum force

$F_m$

对于无明显屈服(不连续屈服)的金属，为试验期间的最大力。

3.9.2

最大力 maximum force

$F_m$

对于有不连续屈服的金属材料，在加工硬化开始之后，试样所承受的最大力。

注：见图 8a) 和 8b)。

3.10

应力 stress

$R$

试验期间任一时刻的力除以试样原始横截面积  $S_0$  之商<sup>[1]</sup>。

注 1：GB/T 228 的本部分中的应力是工程应力。

注 2：在后续标准文本中，符号“力”和“应力”或“延伸”，“延伸率”和“应变”分别用于各种情况(如图中的坐标轴符号

所示,或用于解释不同力学性能的测定)。然而,对于曲线上一已定义点的总描述和定义,符号“力”和“应力”或“延伸”,“延伸率”和“应变”相互之间是可以互换的。

3.10.1

抗拉强度 tensile strength

$R_m$

相应最大力  $F_m$  对应的应力<sup>[1]</sup>。

3.10.2

屈服强度 yield strength

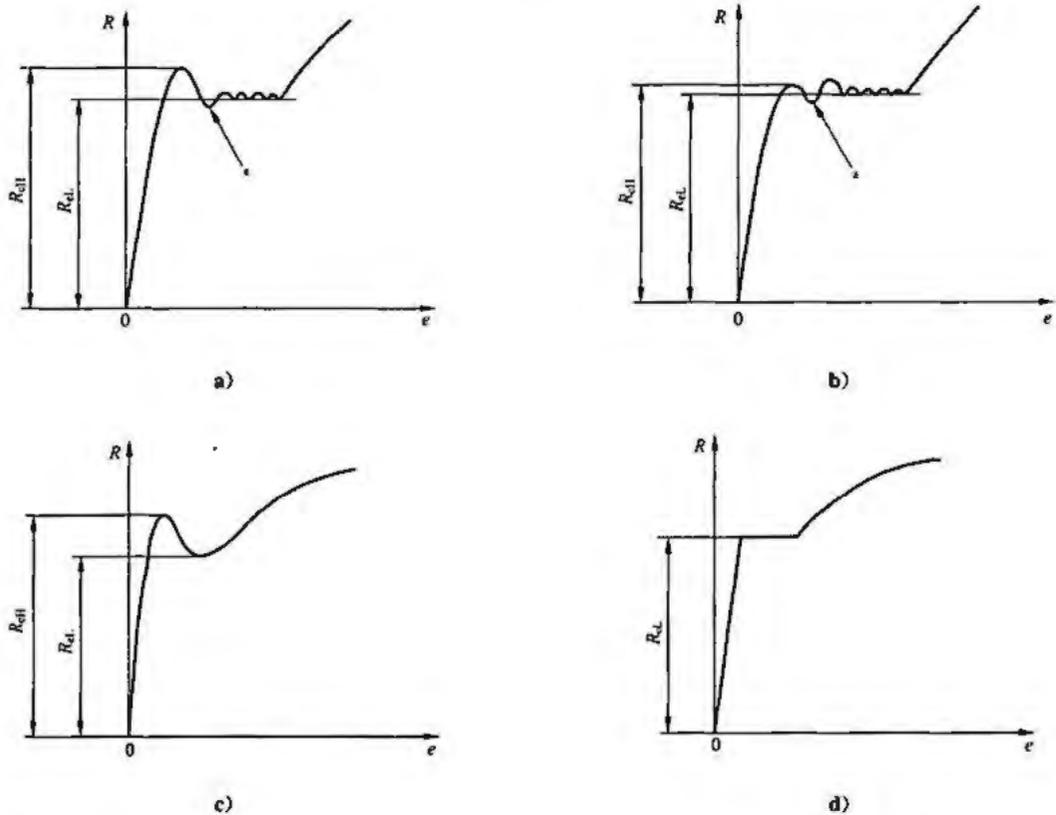
当金属材料呈现屈服现象时,在试验期间达到塑性变形发生而力不增加的应力点。应区分上屈服强度和下屈服强度<sup>[1]</sup>。

3.10.2.1

上屈服强度 upper yield strength

$R_{eH}$

试样发生屈服而力首次下降前的最大应力<sup>[1]</sup>。见图 2。



说明:

$e$  ——延伸率;

$R$  ——应力;

$R_{eH}$  ——上屈服强度;

$R_{eL}$  ——下屈服强度;

$a$  ——初始瞬时效应。

图 2 不同类型曲线的上屈服强度和下屈服强度

3.10.2.2

下屈服强度 lower yield strength

$R_{eL}$

在屈服期间,不计初始瞬时效应时的最小应力<sup>[1]</sup>。见图 2。

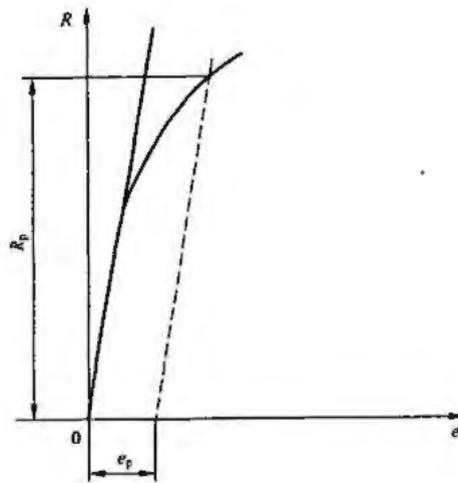
3.10.3

规定塑性延伸强度 proof strength, plastic extension

$R_p$

塑性延伸率等于规定的引伸计标距  $L_e$  百分率时的应力<sup>[1]</sup>。见图 3。

注:使用的符号应附下脚标说明所规定的塑性延伸率,例如,  $R_{p0.2}$  表示规定塑性延伸率为 0.2% 时的应力。



说明:

$e$  —— 延伸率;

$e_p$  —— 规定的塑性延伸率;

$R$  —— 应力;

$R_p$  —— 规定塑性延伸强度。

图 3 规定塑性延伸强度  $R_p$  (见 13.1)

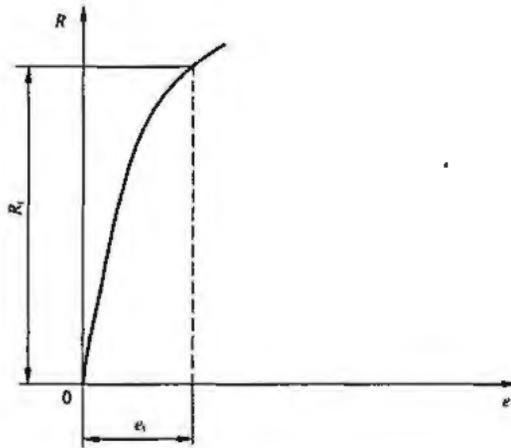
3.10.4

规定总延伸强度 proof strength, total extension

$R_t$

总延伸率等于规定的引伸计标距  $L_e$  百分率时的应力<sup>[1]</sup>。见图 4。

注:使用的符号应附下脚标说明所规定的总延伸率,例如,  $R_{t0.5}$  表示规定总延伸率为 0.5% 时的应力。



说明:

- $e$  —— 延伸率;
- $e_t$  —— 规定总延伸率;
- $R$  —— 应力;
- $R_t$  —— 规定总延伸强度。

图 4 规定总延伸强度  $R_t$

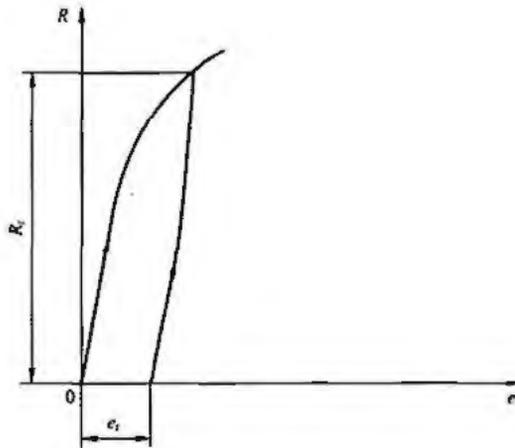
3.10.5

规定残余延伸强度 permanent set strength

$R_p$

卸除应力后残余延伸率等于规定的原始标距  $L_0$  或引伸计标距  $L_e$  百分率时对应的应力<sup>(1)</sup>。见图 5。

注: 使用的符号应附下脚标说明所规定的残余延伸率。例如,  $R_{p0.2}$  表示规定残余延伸率为 0.2% 时的应力。



说明:

- $e$  —— 延伸率;
- $e_r$  —— 规定残余延伸率;
- $R$  —— 应力;
- $R_p$  —— 规定残余延伸强度。

图 5 规定残余延伸强度  $R_p$

## 3.11

## 断裂 fracture

当试样发生完全分离时的现象。

注：在附录 A 的图 A.2 给出了计算机控制试验机用断裂的判据。

## 4 符号和说明

GB/T 228 的本部分使用的符号和相应的说明见表 1。

表 1 符号和说明

符号	单位	说 明
试样		
$a_0, T$	mm	矩形横截面试样原始厚度或原始管壁厚
$b_0$	mm	矩形横截面试样平行长度的原始宽度或管的纵向剖条宽度或扁丝原始宽度
$d_0$	mm	圆形横截面试样平行长度的原始直径或圆丝原始直径或管的原始内径
$D_0$	mm	管原始外直径
$L_0$	mm	原始标距
$L'_0$	mm	测定 $A_{m0}$ 的原始标距(见附录 D)
$L_c$	mm	平行长度
$L_e$	mm	引伸计标距
$L_t$	mm	试样总长度
$d_n$	mm	圆形横截面试样断裂后缩颈处最小直径。
$L_n$	mm	断后标距
$L'_n$	mm	测量 $A_{m0}$ 的断后标距(见附录 D)
$S_0$	mm <sup>2</sup>	原始横截面积
$S_n$	mm <sup>2</sup>	断后最小横截面积
$k$	—	比例系数(见 6.1.1)
$Z$	%	断面收缩率
伸长率		
$A$	%	断后伸长率(见 3.4.2)
$A_{m0}$	%	无缩颈塑性伸长率(见附录 D)
延伸率		
$A_e$	%	屈服点延伸率
$A_g$	%	最大力 $F_m$ 塑性延伸率
$A_p$	%	最大力 $F_m$ 总延伸率
$A_t$	%	断裂总延伸率
$\Delta L_m$	mm	最大力总延伸
$\Delta L_t$	mm	断裂总延伸

表 1 (续)

符 号	单 位	说 明
速率		
$\dot{\epsilon}_{L_e}$	$s^{-1}$	应变速率
$\dot{\epsilon}_{L_c}$	$s^{-1}$	平行长度估计的应变速率
$v_c$	$mm \cdot s^{-1}$	横梁位移速率
$\dot{R}$	$MPa \cdot s^{-1}$	应力速率
力		
$F_m$	N	最大力
屈服强度、规定强度、抗拉强度		
$E$	$MPa^b$	弹性模量
$m$	$MPa$	应力-延伸率曲线在给定试验时刻的斜率
$m_x$	$MPa$	应力-延伸率曲线弹性部分的斜率 <sup>c</sup>
$R_{eH}$	$MPa^b$	上屈服强度
$R_{eL}$	$MPa$	下屈服强度
$R_m$	$MPa$	抗拉强度
$R_p$	$MPa$	规定塑性延伸强度
$R_r$	$MPa$	规定残余延伸强度
$R_t$	$MPa$	规定总延伸强度
<p><sup>a</sup> 钢管产品标准中使用的符号。</p> <p><sup>b</sup> <math>1 MPa = 1 N \cdot mm^{-2}</math>。</p> <p><sup>c</sup> 应力-延伸率曲线的弹性部分的斜率值并不一定代表弹性模量。在最佳条件下(高分辨率, 双侧平均引伸计, 试样的同轴度很好等), 弹性部分的斜率值与弹性模量值非常接近。</p>		

## 5 原理

试验系用拉力拉伸试样, 一般拉至断裂, 测定第 3 章定义的一项或几项力学性能。

除非另有规定, 试验一般在室温  $10\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$  范围内进行。对温度要求严格的试验, 试验温度应为  $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 6 试样

### 6.1 形状与尺寸

#### 6.1.1 一般要求

试样的形状与尺寸取决于要被试验的金属产品的形状与尺寸。

通常从产品、压制坯或铸件切取样坯经机加工制成试样。但具有恒定横截面的产品(型材、棒材、线材等)和铸造试样(铸铁和铸造非铁合金)可以不经机加工而进行试验。

试样横截面可以为圆形、矩形、多边形、环形，特殊情况下可以为某些其他形状。

原始标距与横截面积有  $L_0 = k\sqrt{S_0}$  关系的试样称为比例试样。国际上使用的比例系数  $k$  的值为 5.65。原始标距应不小于 15 mm。当试样横截面积太小，以致采用比例系数  $k$  为 5.65 的值不能符合这一最小标距要求时，可以采用较高的值（优先采用 11.3 的值）或采用非比例试样。

注：选用小于 20 mm 标距的试样，测量不确定度可能增加。

非比例试样其原始标距  $L_0$  与原始横截面积  $S_0$  无关。

试样的尺寸公差应符合附录 B~附录 E 的相应规定（见 6.2）。

### 6.1.2 机加工的试样

如试样的夹持端与平行长度的尺寸不相同，他们之间应以过渡弧连接。此弧的过渡半径的尺寸可能很重要，如相应的附录（见 6.2）中对过渡半径未作规定时，建议应在相关产品标准中规定。

试样夹持端的形状应适合试验机的夹头。试样轴线应与力的作用线重合。

试样平行长度  $L_0$  或试样不具有过渡弧时夹头间的自由长度应大于原始标距  $L_0$ 。

### 6.1.3 不经机加工的试样

如试样为未经机加工的产品或试棒的一段长度，两夹头间的自由长度应足够，以使原始标距的标记与夹头有合理的距离（见附录 B~附录 E）。

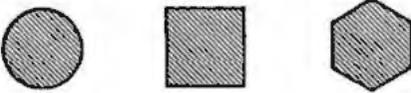
铸造试样应在其夹持端和平行长度之间以过渡弧连接。此弧的过渡半径的尺寸可能很重要，建议在相关产品标准中规定。试样夹持端的形状应适合于试验机的夹头。平行长度  $L_0$  应大于原始标距  $L_0$ 。

## 6.2 试样类型

附录 B~附录 E 中按产品的形状规定了试样的主要类型，见表 2。相关产品标准也可规定其他试样类型。

表 2 试样的主要类型

单位为毫米

产品类型		相应的附录
薄板-板材-扁材  厚度 $a$	线材 — 棒材 — 型材  直径或边长	
$0.1 \leq a < 3$	—	B
—	$< 4$	C
$a \geq 3$	$\geq 4$	D
管材		E

### 6.3 试样的制备

应按照相关产品标准或 GB/T 2975 的要求切取样坯和制备试样。

### 7 原始横截面积的测定

宜在试样平行长度中心区域以足够的点数测量试样的相关尺寸。

原始横截面积  $S_0$  是平均横截面积,应根据测量的尺寸计算。

原始横截面积的计算准确度依赖于试样本身特性和类型。附录 B~附录 E 给出了不同类型试样原始横截面积  $S_0$  的评估方法,并提供了测量准确度的详细说明。

### 8 原始标距的标记

应用小标记、细划线或细墨线标记原始标距,但不得用引起过早断裂的缺口作标记。

对于比例试样,如果原始标距的计算值与其标记值之差小于  $10\%L_0$ ,可将原始标距的计算值按 GB/T 8170 修约至最接近 5 mm 的倍数。原始标距的标记应准确到  $\pm 1\%$ 。如平行长度  $L_0$  比原始标距长许多,例如不经机加工的试样,可以标记一系列套叠的原始标距。有时,可以在试样表面划一条平行于试样纵轴的线,并在此线上标记原始标距。

### 9 试验设备的准确度

试验机的测力系统应按照 GB/T 16825.1 进行校准,并且其准确度应为 1 级或优于 1 级。

引伸计的准确度级别应符合 GB/T 12160 的要求。测定上屈服强度、下屈服强度、屈服点延伸率、规定塑性延伸强度、规定总延伸强度、规定残余延伸强度,以及规定残余延伸强度的验证试验,应使用不劣于 1 级准确度的引伸计;测定其他具有较大延伸率的性能,例如抗拉强度、最大力总延伸率和最大力塑性延伸率、断裂总延伸率,以及断后伸长率,应使用不劣于 2 级准确度的引伸计。

计算机控制拉伸试验机应满足 GB/T 22066 并参见附录 A。

### 10 试验要求

#### 10.1 设定试验力零点

在试验加载链装配完成后,试样两端被夹持之前,应设定力测量系统的零点。一旦设定了力值零点,在试验期间力测量系统不能再发生变化。

注:上述方法一方面是为了确保夹持系统的重量在测力时得到补偿,另一方面是为了保证夹持过程中产生的力不影响力值的测量。

#### 10.2 试样的夹持方法

应使用例如楔形夹头、螺纹夹头、平推夹头、套环夹具等合适的夹具夹持试样。

应尽最大努力确保夹持的试样受轴向拉力的作用,尽量减小弯曲(例如更多的信息在 ASTM E1012 中给出<sup>[2]</sup>)。这对试验脆性材料或测定规定塑性延伸强度、规定总延伸强度、规定残余延伸强度或屈服强度时尤为重要。

为了得到直的试样和确保试样与夹头对中,可以施加不超过规定强度或预期屈服强度的 5% 相应的预拉力。宜对预拉力的延伸影响进行修正。

10.3 应变速率控制的试验速率(方法 A)

10.3.1 总则

方法 A 是为了减小测定应变速率敏感参数(性能)时的试验速率变化和试验结果的测量不确定度。

本部分阐述了两种不同类型的应变速率控制模式。第一种应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  是基于引伸计的反馈而得到。第二种是根据平行长度估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_L$ ，即通过控制平行长度与需要的应变速率相乘得到的横梁位移速率来实现。

如果材料显示出均匀变形能力,力值能保持名义的恒定,应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  和根据平行长度估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  大致相等。如果材料展示出不连续屈服或锯齿状屈服(如某些钢和 AlMg 合金在屈服阶段或如某些材料呈现出的 Portevin-LeChatelier 锯齿屈服效应)或发生缩颈时,两种速率之间会存在不同。随着力值的增加,试验机的柔度可能会导致实际的应变速率明显低于应变速率的设定值。

试验速率应满足下列要求:

- a) 在直至测定  $R_{m}$ 、 $R_p$  或  $R_i$  的范围,应按照规定应变速率  $\dot{\epsilon}_L$ , 见 3.7.1。这一范围需要在试样上装夹引伸计,消除拉伸试验机柔度的影响,以准确控制应变速率(对于不能进行应变速率控制的试验机,根据平行长度部分估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  也可用);
- b) 对于不连续屈服的材料,应选用根据平行长度部分估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_L$ , 见 3.7.2。这种情况下是不可能用装夹在试样上的引伸计来控制应变速率的,因为局部的塑性变形可能发生在引伸计标距以外。在平行长度范围利用恒定的横梁位移速率  $\nu_c$  根据式(1)计算得到的应变速率具有足够的准确度。

$$\nu_c = L_c \times \dot{\epsilon}_L \dots\dots\dots(1)$$

式中:

- $\dot{\epsilon}_L$  ——平行长度估计的应变速率;
- $L_c$  ——平行长度。

- c) 在测定  $R_p$ 、 $R_i$  或屈服结束之后,应该使用  $\dot{\epsilon}_L$  或  $\dot{\epsilon}_L$ 。为了避免由于缩颈发生在引伸计标距以外控制出现问题,推荐使用  $\dot{\epsilon}_L$ 。

在测定相关材料性能时,应保持 10.3.2 至 10.3.4 规定的应变速率(见图 9)。

在进行应变速率或控制模式转换时,不应在应力-延伸率曲线上引入不连续性,而至曲  $R_m$ 、 $A_g$  或  $A_t$  值(见图 10)。这种不连续效应可以通过降低转换速率得以减轻。

应力-延伸率曲线在加工硬化阶段的形状可能受应变速率的影响。采用的试验速率应通过文件来规定(见 10.6)。

10.3.2 上屈服强度  $R_{m}$  或规定延伸强度  $R_p$ 、 $R_i$  和  $R_t$  的测定

在测定  $R_{m}$ 、 $R_p$ 、 $R_i$  和  $R_t$  时,应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  应尽可能保持恒定。在测定这些性能时, $\dot{\epsilon}_L$  应选用下面两个范围之一(见图 9):

- 范围 1:  $\dot{\epsilon}_L = 0.000\ 07s^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$ ;
- 范围 2:  $\dot{\epsilon}_L = 0.000\ 25s^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$  (如果没有其他规定,推荐选取该速率)。

如果试验机不能直接进行应变速率控制,应该采用通过平行长度估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_L$  即恒定的横梁位移速率,该速率应用 10.3.1 中的式(1)进行计算。如考虑试验机系统的柔度,参见附录 F。

10.3.3 下屈服强度  $R_{eL}$  和屈服点延伸率  $A_g$  的测定

上屈服强度之后,在测定下屈服强度和屈服点延伸率时,应当保持下列两种范围之一的平行长度估

计的应变速率  $\dot{\epsilon}_{L_c}$  (见图 9), 直到不连续屈服结束;

- 范围 2:  $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0.000\ 25\text{s}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$  (测定  $R_{mL}$  时推荐该速率);
- 范围 3:  $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0.002\text{s}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$ 。

#### 10.3.4 抗拉强度 $R_m$ , 断后伸长率 $A$ , 最大力下的总延伸率 $A_g$ , 最大力下的塑性延伸率 $A_p$ 和断面收缩率 $Z$ 的测定

在屈服强度或塑性延伸强度测定后, 根据试样平行长度估计的应变速率  $\dot{\epsilon}_{L_c}$  应转换成下述规定范围之一的应变速率(见图 9):

- 范围 2:  $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0.000\ 25\text{s}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$ ;
- 范围 3:  $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0.002\text{s}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$ ;
- 范围 4:  $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0.006\ 7\text{s}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$  ( $0.4\ \text{min}^{-1}$ , 相对误差  $\pm 20\%$ ) (如果没有其他规定, 推荐选取该速率)。

如果拉伸试验仅仅是为了测定抗拉强度, 根据范围 3 或范围 4 得到的平行长度估计的应变速率适用于整个试验。

### 10.4 应力速率控制的试验速率(方法 B)

#### 10.4.1 总则

试验速率取决于材料特性并应符合下列要求。如果没有其他规定, 在应力达到规定屈服强度的一半之前, 可以采用任意的试验速率。超过这点以后的试验速率应满足下述规定。

#### 10.4.2 测定屈服强度和规定强度的试验速率

##### 10.4.2.1 上屈服强度 $R_{mH}$

在弹性范围和直至上屈服强度, 试验机夹头的分离速率应尽可能保持恒定并在表 3 规定的应力速率范围内。

注: 弹性模量小于 150 000 MPa 的典型材料包括镁、铝合金、铜和钛。弹性模量大于 150 000 MPa 的典型材料包括铁、钢、钨和镍基合金。

表 3 应力速率

材料弹性模量 $E/\text{MPa}$	应力速率 $\dot{R}/(\text{MPa} \cdot \text{s}^{-1})$	
	最小	最大
$<150\ 000$	2	20
$\geq 150\ 000$	6	60

##### 10.4.2.2 下屈服强度 $R_{mL}$

如仅测定下屈服强度, 在试样平行长度的屈服期间应变速率应在  $0.000\ 25\ \text{s}^{-1} \sim 0.002\ 5\ \text{s}^{-1}$  之间。平行长度内的应变速率应尽可能保持恒定。如不能直接调节这一应变速率, 应通过调节屈服即将开始前的应力速率来调整, 在屈服完成之前不再调节试验机的控制。

任何情况下, 弹性范围内的应力速率不得超过表 3 规定的最大速率。

#### 10.4.2.3 上屈服强度 $R_{eH}$ 和下屈服强度 $R_{eL}$

如在同一试验中测定上屈服强度和下屈服强度,测定下屈服强度的条件应符合 10.4.2.2 的要求。

#### 10.4.2.4 规定塑性延伸强度 $R_p$ 、规定总延伸强度 $R_t$ 和规定残余延伸强度 $R_r$

在弹性范围试验机的横梁位移速率应在表 3 规定的应力速率范围内,并尽可能保持恒定。

在塑性范围和直至规定强度(规定塑性延伸强度、规定总延伸强度和规定残余延伸强度)应变速率不应超过  $0.002\text{ s}^{-1}$ 。

#### 10.4.2.5 横梁位移速率

如试验机无能力测量或控制应变速率,应采用等效于表 3 规定的应力速率的试验机横梁位移速率,直至屈服完成。

#### 10.4.2.6 抗拉强度 $R_m$ 、断后伸长率 $A$ 、最大力总延伸率 $A_{gt}$ 、最大力塑性延伸率 $A_{gP}$ 和断面收缩率 $Z$

测定屈服强度或塑性延伸强度后,试验速率可以增加到不大于  $0.008\text{ s}^{-1}$  的应变速率(或等效的横梁分离速率)。

如果仅仅需要测定材料的抗拉强度,在整个试验过程中可以选取不超过  $0.008\text{ s}^{-1}$  的单一试验速率。

### 10.5 试验方法和速率的选择

除非另有规定,只要能满足 GB/T 228 的本部分的要求,实验室可以自行选择方法 A 或方法 B 和试验速率。

### 10.6 试验条件的表示

为了用缩略的形式报告试验控制模式和试验速率,可以使用下列缩写的表示形式:

GB/T 228A $nnn$  或 GB/T 228B $n$

这里“A”定义为使用方法 A(应变速率控制),“B”定义为使用方法 B(应力速率控制)。三个字母的符号“ $nnn$ ”是指每个试验阶段所用速率,如图 9 中定义的,方法 B 中的符号“ $n$ ”是指在弹性阶段所选取的应力速率。

示例 1:GB/T 228A224 表示试验为应变速率控制,不同阶段的试验速率范围分别为 2、2 和 4。

示例 2:GB/T 228B30 表示试验为应力速率控制,试验的名义应力速率为  $30\text{ MPa}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

示例 3:GB/T 228B 表示试验为应力速率控制,试验的名义应力速率符合表 3。

## 11 上屈服强度的测定

上屈服强度  $R_{eH}$  可以从力-延伸曲线图或峰值力显示器上测得,定义为力首次下降前的最大力值对应的应力(见图 2)。

## 12 下屈服强度的测定

下屈服强度  $R_{eL}$  可以从力-延伸曲线上测得,定义为不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小力所对应的应力(见图 2)。

对于上、下屈服强度位置判定的基本原则如下:

- a) 屈服前的第 1 个峰值应力(第 1 个极大值应力)判为上屈服强度,不管其后的峰值应力比它大或比它小;
- b) 屈服阶段中如呈现两个或两个以上的谷值应力,舍去第 1 个谷值应力(第 1 个极小值应力)不计,取其余谷值应力中之最小者判为下屈服强度。如只呈现 1 个下降谷,此谷值应力判为下屈服强度;
- c) 屈服阶段中呈现屈服平台,平台应力判为下屈服强度;如呈现多个而且后者高于前者的屈服平台,判第 1 个平台应力为下屈服强度;
- d) 正确的判定结果应是下屈服强度一定低于上屈服强度。

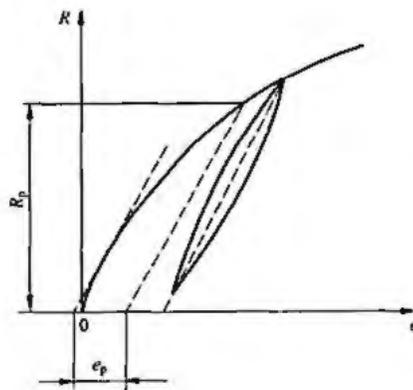
为提高试验效率,可以报告在上屈服强度之后延伸率为 0.25% 范围以内的最低应力为下屈服强度,不考虑任何初始瞬时效应。用此方法测定下屈服强度后,试验速率可以按照 10.3.4 增加。试验报告应注明使用了此简捷方法。

注:此规定仅仅适用于呈现明显屈服的材料和不测定屈服点延伸率情况。

### 13 规定塑性延伸强度的测定

13.1 根据力-延伸曲线图测定规定塑性延伸强度  $R_p$ 。在曲线图上,作一条与曲线的弹性直线段部分平行,且在延伸轴上与此直线的距离等效于规定塑性延伸率,例如 0.2% 的直线。此平行线与曲线的交截点给出相应于所求规定塑性延伸强度的力。此力除以试样原始横截面积  $S_0$  得到规定塑性延伸强度(见图 3)。

如力-延伸曲线图的弹性直线部分不能明确地确定,以致不能以足够的准确度作出这一平行线,推荐采用如下方法(见图 6)。



说明:

$e$  —— 延伸率;

$e_p$  —— 规定的塑性延伸率;

$R$  —— 应力;

$R_p$  —— 规定塑性延伸强度。

图 6 规定塑性延伸强度  $R_p$ (见 13.1)

试验时,当已超过预期的规定塑性延伸强度后,将力降至约为已达到的力的 10%。然后再施加

力直至超过原已达到的力。为了测定规定塑性延伸强度,过滞后环两 endpoint 画一直线。然后经过横轴上与曲线原点的距离等效于所规定的塑性延伸率的点,作平行于此直线的平行线。平行线与曲线的交点给出相应于规定塑性延伸强度的力。此力除以试样原始横截面积得到规定塑性延伸强度(见图 6)。

注 1: 可以用各种方法修正曲线的原点。作一条平行于滞后环所确定的直线的平行线并使其与力-延伸曲线相切,此平行线与延伸轴的交点即为曲线的修正原点(见图 6)。

注 2: 在力降低开始点的塑性应变只略微高于规定的塑性延伸强度  $R_p$ 。较高应变的开始点将会降低通过滞后环获得直线的斜率。

注 3: 如果在产品标准中没有规定或得到客户的同意,在不连续屈服期间或之后测定规定塑性延伸强度是不合适的。

13.2 可以使用自动处理装置(例如微处理机等)或自动测试系统测定规定塑性延伸强度,可以不绘制力-延伸曲线图(参见附录 A)。

13.3 可以采用附录 J 提供的逐步逼近方法测定规定塑性延伸强度。

#### 14 规定总延伸强度的测定

14.1 在力-延伸曲线图上,作一条平行于力轴并与该轴的距离等效于规定总延伸率的平行线,此平行线与曲线的交点给出相应于规定总延伸强度的力,此力除以试样原始横截面积  $S_0$  得到规定总延伸强度  $R_t$ (见图 4)。

14.2 可以使用自动处理装置(例如微处理机等)或自动测试系统测定规定总延伸强度,可以不绘制力-延伸曲线图(参见附录 A)。

#### 15 规定残余延伸强度的验证和测定

试样施加相应于规定残余延伸强度的力,保持力 10 s~12 s,卸除力后验证残余延伸率未超过规定百分率(见图 5)。

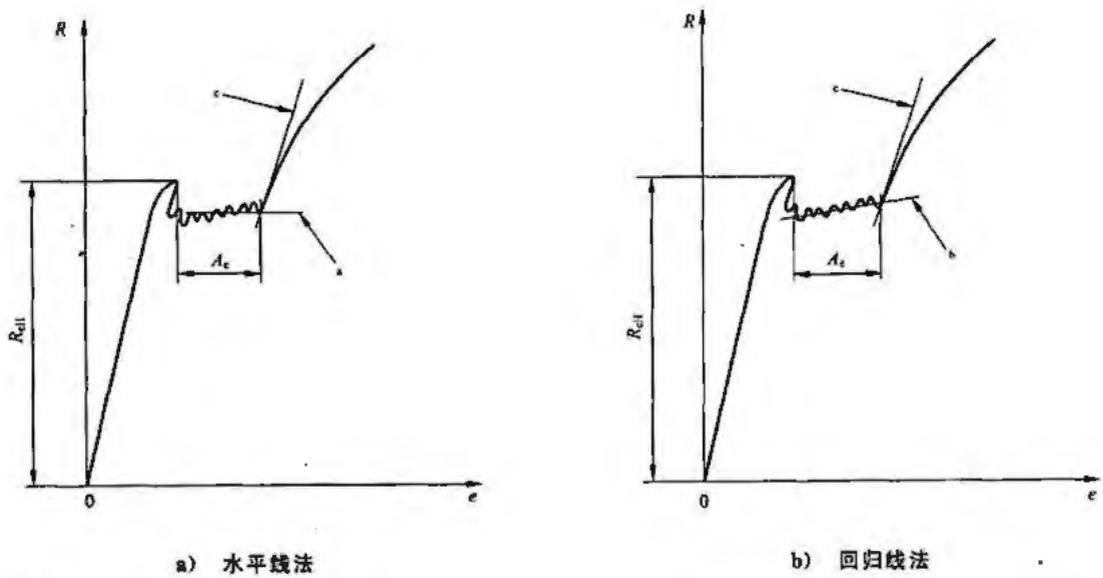
注: 这是检查通过或未通过的试验,通常不作为标准拉伸试验的一部分。对试样施加应力,允许的残余延伸由相关产品标准(或试验委托方)来规定。例如:报告“ $R_{e,ts}=750$  MPa 通过”意思是对试样施加 750 MPa 的应力,产生的残余延伸小于等于 0.5%。

如为了得到规定残余延伸强度的具体数值,应进行测定,附录 K 提供了测规定残余延伸强度的例子。

#### 16 屈服点延伸率的测定

对于不连续屈服的材料,从力-延伸图上均匀加工硬化开始点的延伸减去上屈服强度  $R_{eH}$  对应的延伸得到屈服点延伸  $A_g$ 。均匀加工硬化开始点的延伸通过在曲线图上,经过不连续屈服阶段最后的最小值点作一条水平线或经过均匀加工硬化前屈服范围的回归线,与均匀加工硬化开始处曲线的最高斜率线相交点确定。屈服点延伸除以引伸计标距  $L_0$  得到屈服点延伸率(见图 7)。

试验报告应注明确定均匀加工硬化开始点的方法[见图 7a)或 7b)]。



说明：  
 $A_e$  ——屈服点延伸率；  
 $e$  ——延伸率；  
 $R$  ——应力；  
 $R_{eH}$  ——上屈服强度；  
 · 经过均匀加工硬化前最后最小值点的水平线。  
 · 经过均匀加工硬化前屈服范围的回归线。  
 · 均匀加工硬化开始处曲线的最高斜率线。

图 7 屈服点延伸率  $A_e$  的不同评估方法

17 最大力塑性延伸率的测定

在用引伸计得到的力-延伸曲线图上从最大力时的总延伸中扣除弹性延伸部分即得到最大力时的塑性延伸，将其除以引伸计标距得到最大力塑性延伸率。

最大力塑性延伸率  $A_g$  按照式(2)进行计算：

$$A_g = \left( \frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \times 100 \quad \dots\dots\dots (2)$$

式中：  
 $L_e$  ——引伸计标距；  
 $m_E$  ——应力-延伸率曲线弹性部分的斜率；  
 $R_m$  ——抗拉强度；  
 $\Delta L_m$  ——最大力下的延伸。

注：有些材料在最大力时呈现一平台。当出现这种情况，取平台中点的最大力对应的塑性延伸率(见图 1)。

有些材料其最大力塑性延伸率不等于无缩颈塑性延伸率，对于棒材、线材和条材等长产品，可以采用附录 I 的方法测定无缩颈塑性延伸率  $A_{m0}$ 。

18 最大力总延伸率的测定

在用引伸计得到的力-延伸曲线图上测定最大力总延伸。最大力总延伸率  $A_{gt}$  按照式(3)计算：