

金属材料 拉伸试验

第1部分：室温试验方法

GB/T 228.1-2021

代替 GB/T 228.1-2010



序言

课题目标：了解金属材料室温拉伸试验方法。

课题重点：试样参数测量，试验结果判定，试验速率选择，数值修约

科技创新，以人为本

试验





标准的组成



目录

01



术语和定义

02



符号和说明

03



试样

04



试样参数

05



试验要求

06



试验结果

07



数值修约

08



附录



3.1 标距 gauge length

L

在测试的任一时刻，用于测量试样伸长的平行部分长度。

3.1.1 原始标距 original gauge length

L_0

室温下施力前的试样标距(3.1)。

3.1.2 断后标距 final gauge length after fracture

L_u

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(3.1)。



3.2 平行长度 parallel length

L_c

试样平行缩减部分的长度。

注：对于未经机加工的试样，平行长度指未加工试样夹持部分之间的距离。

3.3 伸长 elongation

试验期间任一时刻原始标距(3.1.1)的增量。

3.4 伸长率 percentage elongation

原始标距的伸长(3.3)与原始标距(L_0)(3.1.1)之比，以%表示。



3.4.1 残余伸长率 Percentage permanent elongation

卸除指定的应力后, 伸长与原始标距(L_0)(3.1.1)之比, 以 % 表示。

3.4.2 断后伸长率 percentage elongation after fracture

A

断后标距的残余伸长(3.3)($L_u - L_0$)与原始标距(L_0)(3.1.1)之比, 以 % 表示。

3.5 引伸计标距 extensometer gauge length

L_e

用引伸计测量试样延伸(3.6)时所使用引伸计初始标距长度。

注 1 : 对于测定(部分或全部)基于延伸的性能, 例如 R_p , A_e 或 A_g , 使用引伸计是强制的。



3.6 延伸 extension

试验期间任一时刻引伸计标距(L_e)(3.5)的增量。

3.6.1 延伸率 percentage extension

应变 strain

e

用引伸计标距(L_e)(3.5)计算的延伸(3.6)百分率。

注: e 通常称为工程应变。

3.6.2 残余延伸率 percentage permanent extension

试样施加并卸除应力(3.10)后引伸计标距(3.5)的增量与引伸计标距(L_e)之比, 以 % 表示。



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> 屈服开始至均匀加工硬化开始之间引伸计标距的延伸(3.6)与引伸计标距 L_e (3.5)之比, 以 % 表示。

3.6.4 最大力总延伸率 percentage total extension at maximum force

A_{gt}

最大力时的总延伸(3.6)(弹性延伸加塑性延伸)与引伸计标距(L_e)(3.5)之比, 以 % 表示。

3.6.5 最大力塑性延伸率 percentage plastic extension at maximum force

A_g

最大力时的塑性延伸(3.6)与引伸计标距(L_e)(3.5)之比, 以 % 表示。

3.6.6 断裂总延伸率 percentage total extension at fracture

A_t

断裂时刻的总延伸(3.6)(弹性延伸加塑性延伸)与引伸计标距(L_e)(3.5)之比, 以 % 表示。



术语和定义

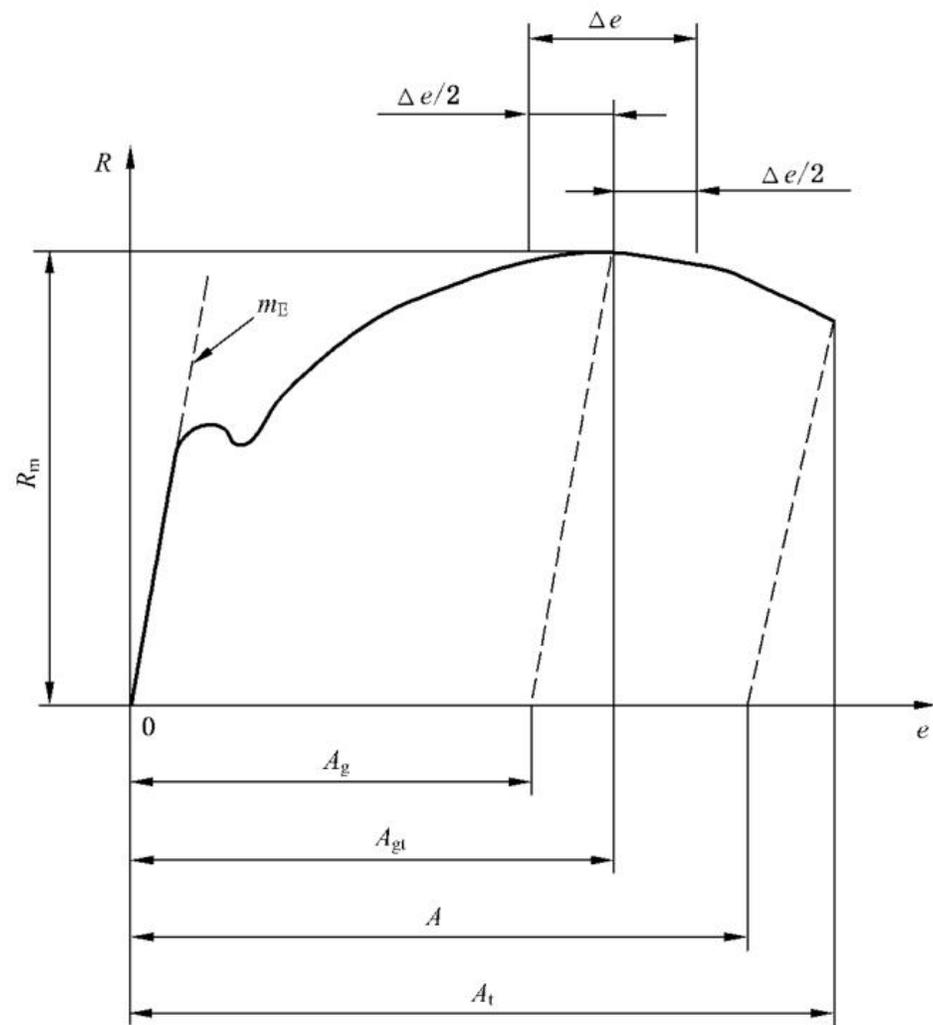


图 1 延伸的定义



标引符号说明:

A ——断后伸长率(从引伸计的信号测得的或者直接从试样上测得这一性能, 见 20.1);

Ag ——最大力塑性延伸率;

Agt ——最大力总延伸率;

At ——断裂总延伸率;

E ——延伸率;

mE ——应力 - 延伸率曲线上弹性部分的斜率;

R ——应力;

Rm ——抗拉强度;

Δe ——平台范围(测定 Ag)



3.7 试验速率 testing rate

3.7.1 应变速率 strain rate

eLe

用引伸计标距(Le)(3.5)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

eLc

根据横梁位移速率(3.7.3)和试样平行长度 Lc (3.2) 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 cross head separation rate

vC

单位时间横梁位移的增加。

3.7.4 应力速率 stress rate

R

单位时间应力(3.10)的增加。 注: 应力速率只用于方法 B 试验的弹性阶段(见 10.3.3)。



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($S_o - S_u$)与原始横截面积(S_o)之比, 以 % 表示:

$$Z = (S_o - S_u) / S_o \times 100$$

3.9 最大力 maximum force

F_m

< 连续屈服的金属材料 > 试验期间试样所承受的最大的力。

< 不连续屈服的金属材料 > 在加工硬化开始之后, 试样所承受的最大的力。

注 1 : 对于呈现不连续屈服的材料, 如果没有加工硬化, 本文件不定义 F_m , 见图 8c) 的脚注。

注 2 : 见图 8a) 和图 8b) 。

3.10 应力 stress

R

试验期间任一时刻的力与试样原始横截面积(S_o)之商。

注 1 : 本文件中的应力是工程应力。



3.10.1 抗拉强度 tensile strength

R_m

相应最大力(F_m)(3.9.2)对应的应力(3.10)。

3.10.2 屈服强度 yield strength

当金属材料呈现屈服现象时, 在试验期间金属材料产生塑性变形而力不增加时的应力(3.10)点。

注: 屈服强度区分上屈服强度和下屈服强度。

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(3.10)。

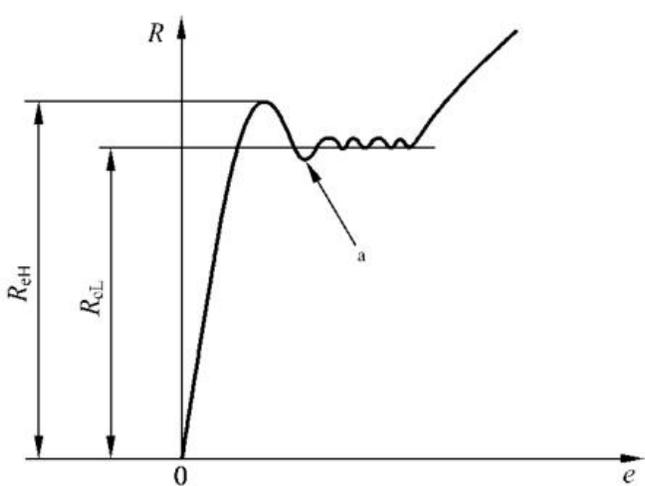
3.10.2.2 下屈服强度 lower yield strength

R_{eL}

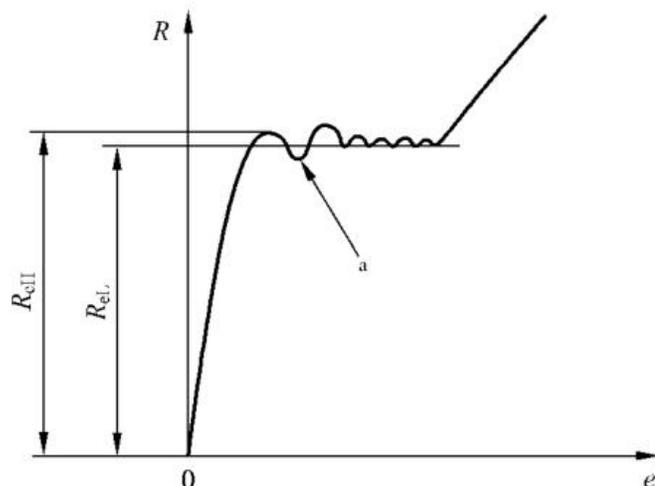
在屈服期间, 不计初始瞬时效应时的最小应力(3.10)。



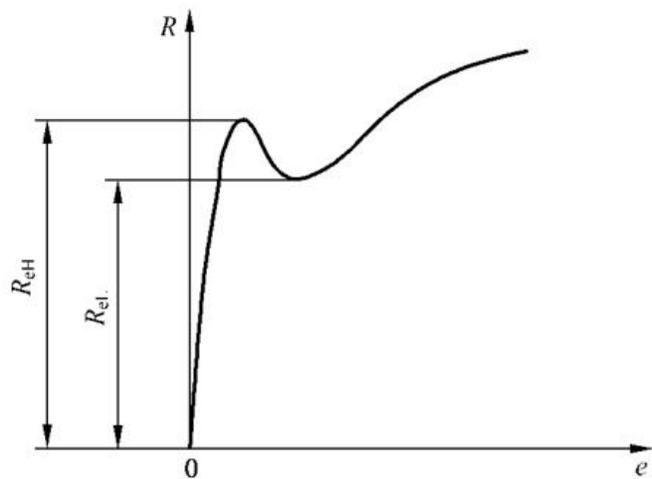
术语和定义



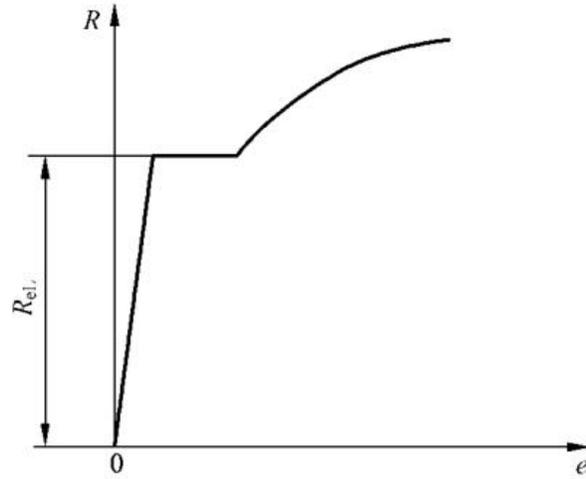
a)



b)



c)



d)

标引符号说明:

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。



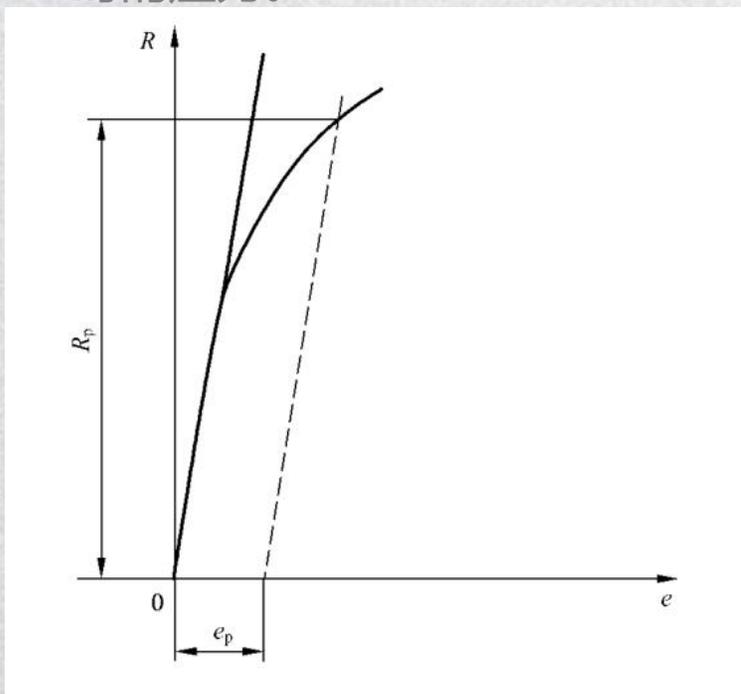
3.10.3 规定塑性延伸强度 proof strength plastic extension

R_p

塑性延伸(3.6)等于规定的引伸计标距(L_e)(3.5)百分率时对应的应力(3.10)。

注1：改写 GB / T24182 — 2009 “规定塑性延伸强度”。

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



标引符号说明:

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。

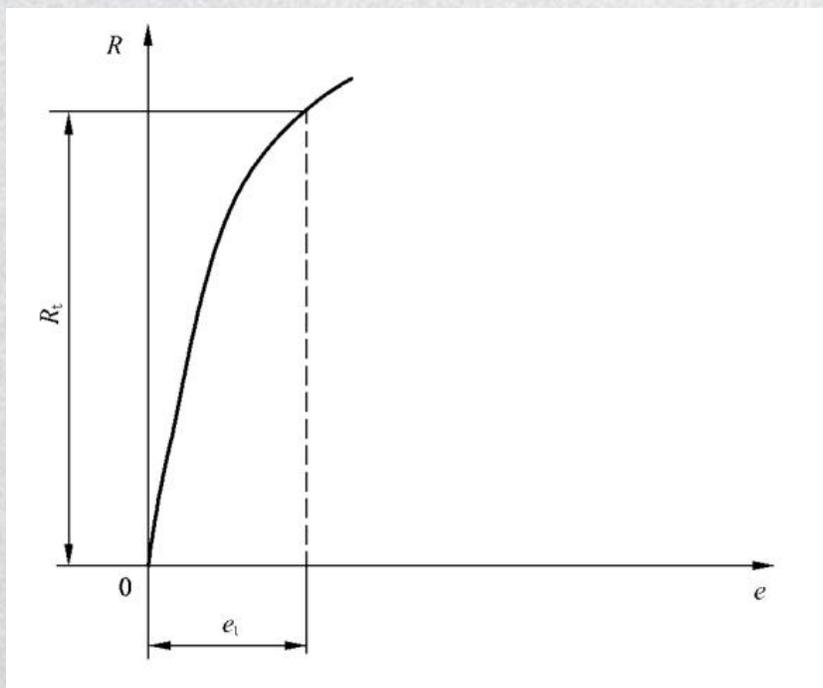


3.10.4 规定总延伸强度 proof strength total extension

R_t

总延伸(3.6)等于规定的引伸计标距(L_e)(3.5)百分率时的应力(3.10)。

注 1：使用的符号需附下脚标说明所规定的总延伸率, 如 $R_{t0.5}$ 表示规定总延伸率为 0.5% 时的应力。



标引符号说明:

e ——延伸率;

e_t ——规定总延伸率;

R ——应力;

R_t ——规定总延伸强度。



3.11 断裂 fracture

当试样发生完全分离时的现象。

注: 图 C.2 给出了一种计算机控制试验机用断裂的判据。

3.12 计算机控制的拉伸试验机 computer-controlled tensile testing machine

用于监控试验和测量, 并由计算机进行数据采集和处理的机器。

3.13 弹性模量 modulus of elasticity

E

在弹性范围内应力变化(ΔR)和延伸率变化(Δe)的商乘以 100% 。

$$E = \Delta R / \Delta e \times 100\%$$

注: 用单位吉帕(GPa)报告弹性模量值, 并参考 GB / T8170 修约至 0.1 GPa 。



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被试验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。但具有等横截面的产品(型材、棒材、线材等)和铸造试样(铸铁和铸造非铁合金)可不经机加工而进行试验。

试样横截面可为圆形、矩形、多边形、环形,特殊情况下可为某些等截面形状。

试样原始标距与横截面积有 $L_0 = k * S_0$ 关系者称为比例试样。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,可以采用较高的比例系数(优先采用 11.3)或采用非比例试样。



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, 它们之间应以过渡弧连接。

6.1 .3 不经机加工的试样

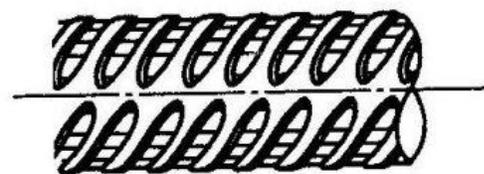
如试样为未经机加工的产品的一段长度或试棒, 两夹头间的长度应足够, 以使原始标距的标记与夹头有合理的距离(见附录 E~ 附录 H)。



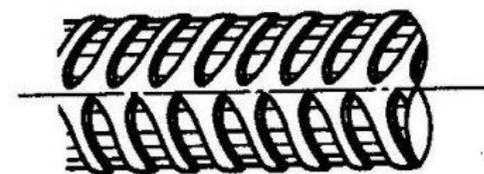
试 样



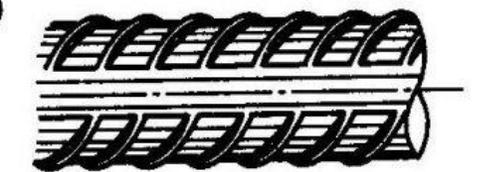
光圆钢筋



螺纹钢筋



人字纹钢筋



月牙纹钢筋

不经机加工的
试样



试 样



机加工试样

试验前



试样



低碳钢 45#钢 硬铝 铜 62# 铜 59# 铸铁

机加工试样

断裂后



7 原始横截面积的测定

宜在试样平行长度区域以足够的点数测量试样的相关尺寸。

建议测量试样横截面积时, 在试样平行长度区域最少三个不同位置进行测量。

测量计算试样的原始横截面积。

- 圆形截面试样：

在标距两端及中间三处横截面上相互垂直两个方向测量直径，以各处两个方向测量的直径的算术平均值计算横截面积，取三处测得横截面积的平均值作为试样原始横截面积。

- 矩形截面试样：

在标距两端及中间三处横截面上测量宽度和厚度，取三处测得横截面积的平均值作为试样原始横截面积。



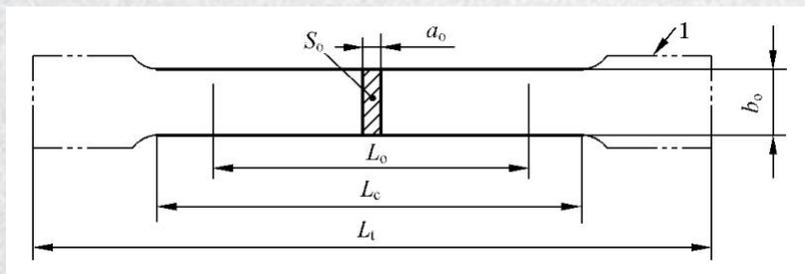
8 原始标距和引伸计标距

8.1 原始标距的选择

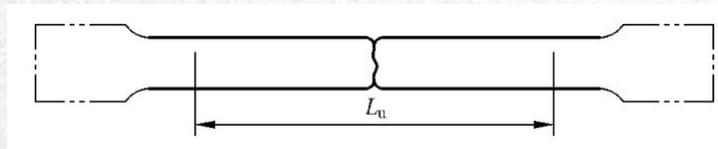
对于比例试样, 若原始标距不为 $5.65 * (S_0)^{0.5}$ (其中 S_0 为平行长度的原始横截面积), 符号 A 宜附以下脚标说明所使用的比例系数。例如, A11.3表示原始标距取 $11.3 * (S_0)^{0.5}$ 对于非比例试样(见附录 E 和附录 G), 符号 A 宜附以下脚标说明所使用的原始标距(以毫米表示)。例如, A80 mm 表示原始标距(L_0)为 80 mm 的断后伸长率。



试样参数



a) 试验前



b) 试验后

标引符号与序号说明:

a_0 —— 矩形横截面试样原始厚度或原始管壁厚度;

b_0 —— 矩形横截面试样平行长度的原始宽度;

L_0 —— 原始标距;

L_c —— 平行长度;

L_t —— 试样总长度;

L_u —— 断后标距;

S_0 —— 平行长度的原始横截面积;

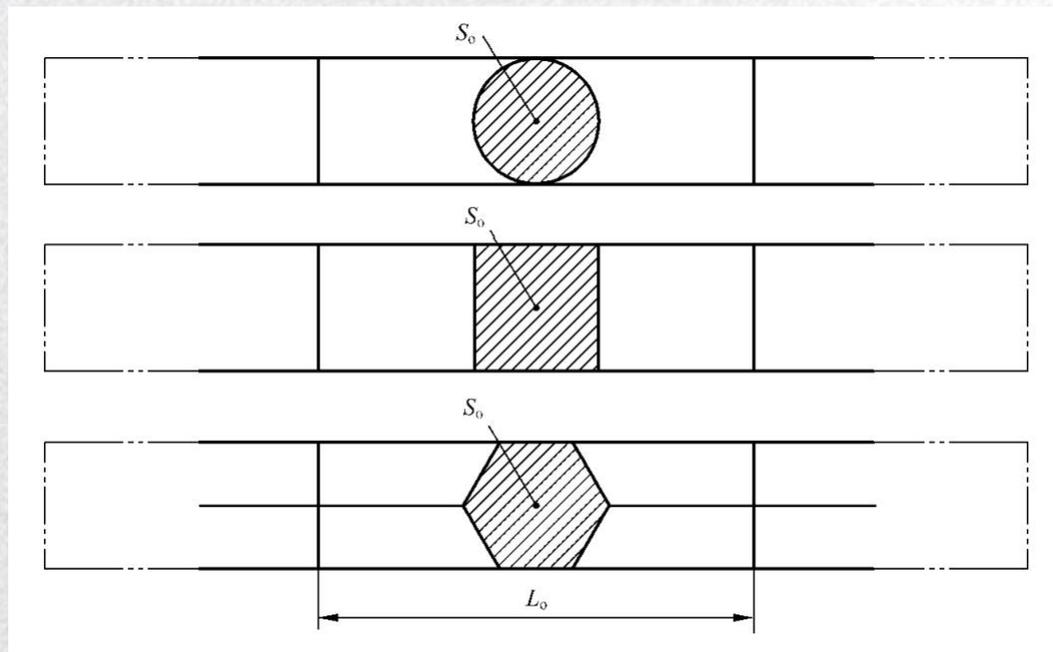
1 —— 夹持头部。

注: 试样头部形状仅为示意性。

图 11 机加工的矩形横截面试样(见附录 E 和附录 G)



试样参数



标引符号说明:

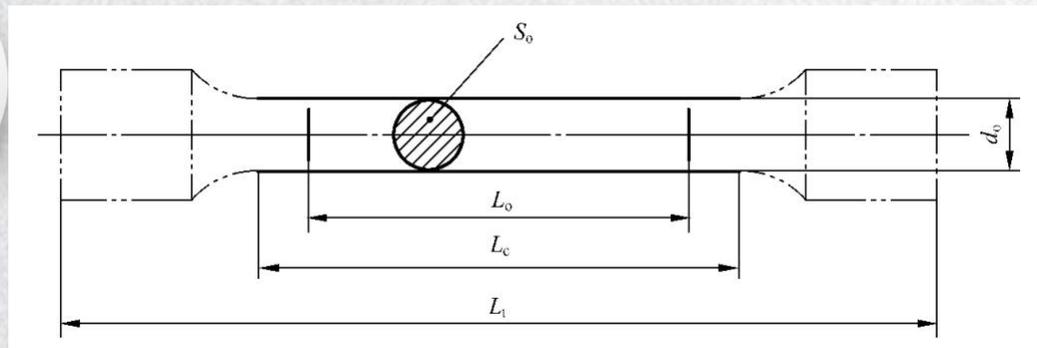
L_0 ——原始标距;

S_0 ——平行长度的原始横截面积。

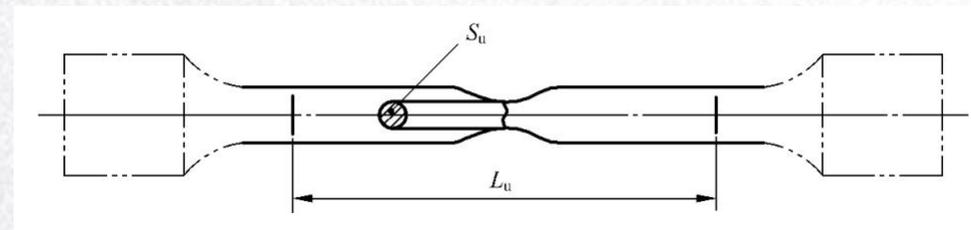
图 12 为 产品一部分的不经机加工试样(见附录 F)



试样参数



a) 试验前



b) 试验后

标引 符号说明:

d_o —— 圆试样平行长度的原始直径;

L_o —— 原始标距;

L_c —— 平行长度;

L_t —— 试样总长度;

L_u —— 断后标距;

S_o —— 平行长度的原始横截面积;

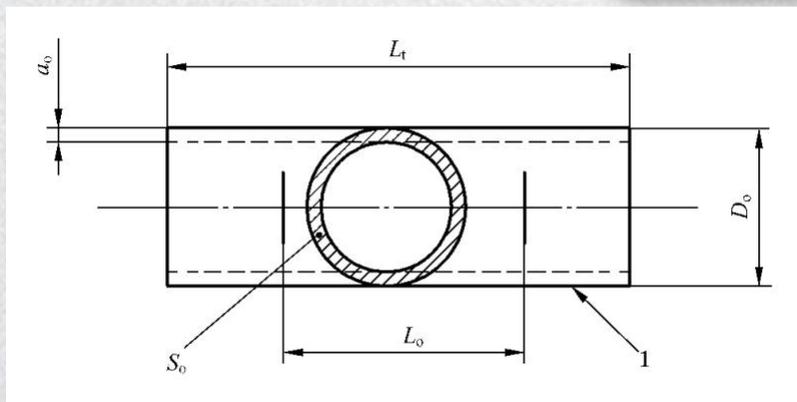
S_u —— 断后最小横截面积;

注: 试样头部形状仅为示意图例。

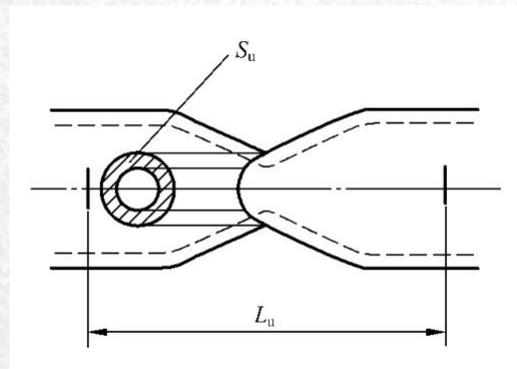
图 13 圆形横截面机加工试样(见附录 G)



试样参数



a) 试验前



b) 试验后

标引 符号与序号说明:

a_0 —— 原始管壁厚度;

D_0 —— 管原始外径;

L_0 —— 原始标距;

L_t —— 试样总长度;

L_u —— 断后标距;

S_0 —— 平行长度的原始横截面积;

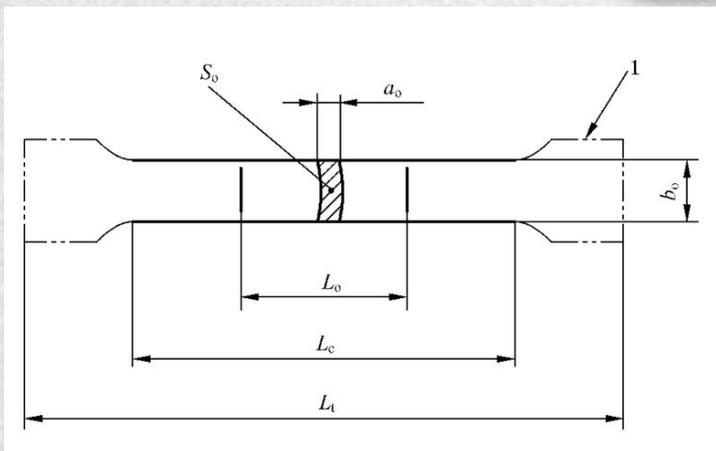
S_u —— 断后最小横截面积;

1 —— 夹持头部。

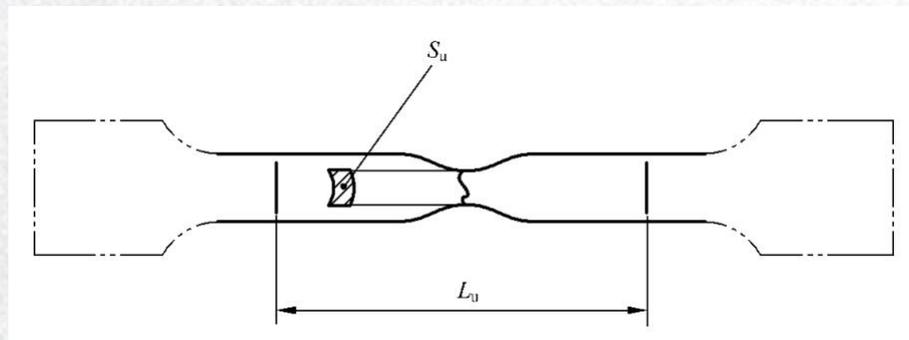
图 14 圆管管段试样(见附录 H)



试样参数



a) 试验前



b) 试验后

标引符号与序号说明:

a_0 —— 原始管壁厚度;

b_0 —— 圆管纵向弧形试样原始宽度;

L_0 —— 原始标距;

L_c —— 平行长度;

L_t —— 试样总长度;

L_u —— 断后标距;

S_0 —— 平行长度的原始横截面积;

S_u —— 断后最小横截面积;

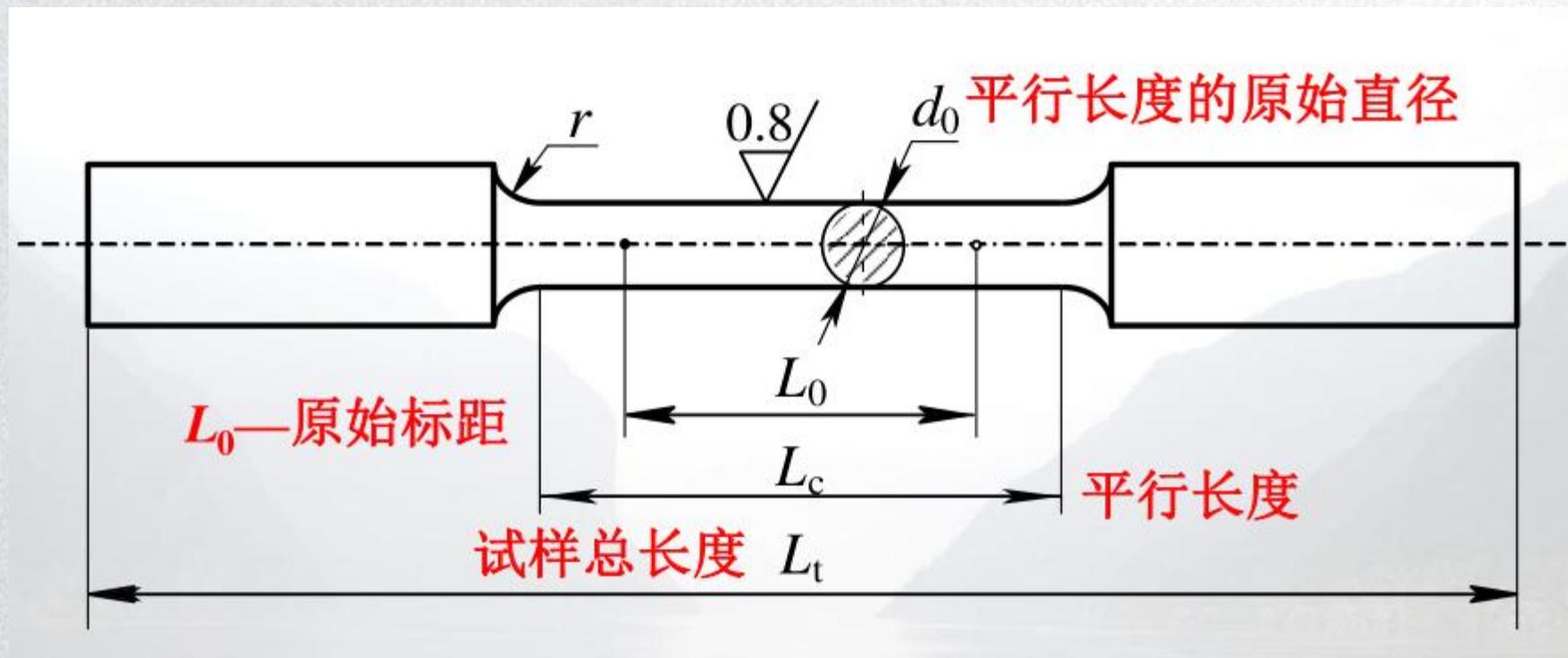
1 —— 夹持头部。

注: 试样头部形状仅为示意图例。

图 15 圆管的纵向弧形试样(见附录 H)



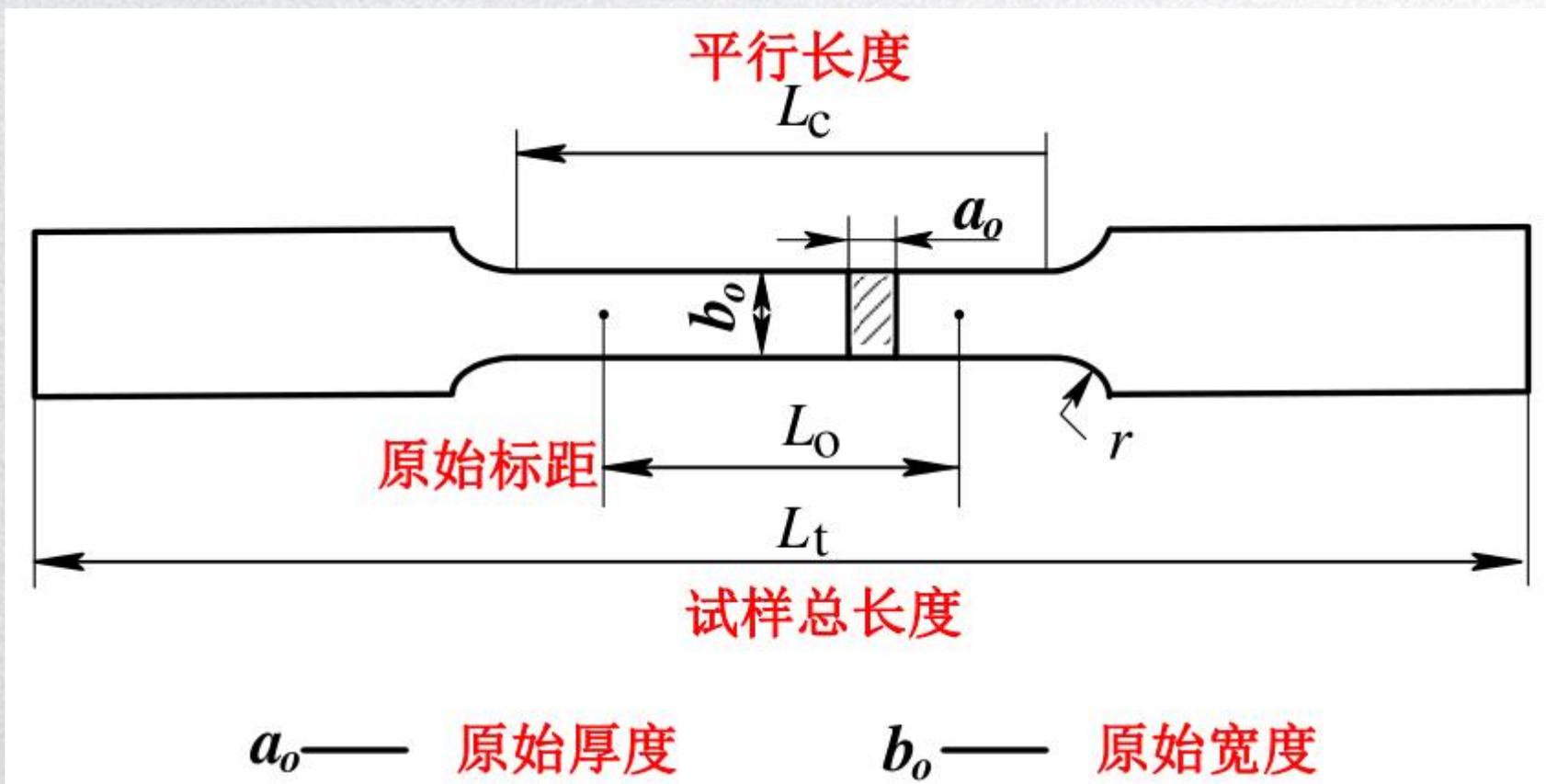
试样参数



圆形试样



试样参数



矩形试样



10.2

试样的夹持方法

应使用例如楔形夹具、螺纹夹具、平推夹具、套环夹具等合适的夹具夹持试样。

宜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 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。

为了确保试样与夹头对中, 可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 试验速率

10.3.1 关于试验速率的一般信息

除非另有规定, 只要满足本文件的要求, 方法 A1 、方法 A2 或方法 B , 以及试验速率的选择样品提供者或其指定实验室来决定。

注 1 : 方法 A 和方法 B 的区别在于方法 A 要求的试验速率定义在感兴趣点(例如 $R_{p0.2}$), 也是要测定的性能; 而方法 B 要求的试验速率一般被设定在测定的性能之前的弹性范围。

在方法 B 的某个条件下(例如对某些钢在弹性范围应力 速率大约 $30 \text{ MPa} / \text{s}$, 使用高刚度的夹持系统和附录 E 表 E.2 中的 P6 试样), 方法 A 的范围 2 的应变速率可被观测到。

注 2 : 产品标准和相关试验标准(例如航空标准)或协议可能规定与本文件不同的试验速率



10.3.2 基于应变速率的试验速率(方法 A)

10.3.2.1 通则

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。本文件阐述了两种不同类型的应变速率控制模式。

——方法 A1 闭环, 应变速率(eLe)是基于引伸计的反馈而得到。

——方法 A2 开环, 应变速率 eLc 是根据平行长度估计的, 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[见公式(2)]来实现。

注: 方法 A2 更严谨的应变速率估算程序的描述见附录 I。

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, 力值能保持名义的恒定, 应变速率(eLe) 和根据平行长度估计的应变速率(eLc) 大致相等。如果材料显示出均匀变形能力, 两种速率之间会存在不同。随着力值的增加, 试验机系统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。



试验要求



试验速率应满足下列要求。

a) 除非另有规定, 否则可以用任何方便的试验速率达到相当于预期屈服强度一半的应力。此后直至测定 R_{eH} 、 R_p 或 R_t 的范围, 应按照规定应变速率(e_{Le}), [或方法 A2 根据平行长度估计的横梁位移速率(v_c)]。这一范围需要在试样上装夹引伸计测量试样延伸, 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, 方法 A2 也可用。

b) 在不连续屈服期间, 应选用平行长度应变速率的估计值(e_{Lc}), 见 3.7.2。在这一范围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。使用按公式(2)计算的恒定横梁位移速率(v_c), 在这一范围可以保持要求的平行长度应变速率的估计值足够准确。

$$v_c = L_c \times e_{Lc} \dots\dots\dots(2)$$



试验要求



c) 在测定了 R_p 、 R_t 或屈服结束后的范围(见 3.7.2), 应该使用 e_{Le} 或 e_{Lc} 。推荐使用 e_{Lc} , 以避免由于缩颈发生在引伸计标距以外而引起试验机控制问题。

在测定相关材料性能时, 应保持 10.3.2.2 至 10.3.2.4 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, 不宜在应力 - 延伸率曲线上引入不连续性, 而歪曲 R_m 、 A_g 或 A_{gt} 值(见图 10)。这种不连续效应可以通过渐近的转换速率方式得以减轻。

应力 - 延伸率曲线在应变硬化阶段的形状可能受应变速率的影响, 宜记录下采用的试验速率(见 10.3.4)。



试验要求



10.3.2.2 测定上屈服强度(R_{eH})或规定延伸强度(R_p 、 R_t 和 R_r)的应变速率

在测定 R_{eH} 、 R_p 、 R_t 和 R_r 时, 应变速率(e_{Le}) 应尽可能保持恒定。在测定这些性能时, e_{Le} 应选用下面两个范围之一(见图 9):

——范围 1 : $e_{Le} = 0.000\ 07\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$;

——范围 2 : $e_{Le} = 0.000\ 25\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$ (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, 应采用方法 A2 。

10.3.2.3 测定下屈服强度(R_{eL})和屈服点延伸率(A_e)的应变速率

上屈服强度之后, 在测定下屈服强度和屈服点延伸率时, 应保持下列两种范围之一的平行长度应变速率的估计值(e_{Lc})范围(见图 9), 直到不连续屈服结束。

——范围 2 : $e_{Lc} = 0.00025\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$ (测定 R_{eL} 时推荐该速率);

——范围 3 : $e_{Lc} = 0.002\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$ 。



10.3.2.4 测定抗拉强度(R_m), 断后伸长率(A), 最大力下的总延伸率(A_{gt}), 最大力下的塑性延伸率(A_g)和断面收缩率(Z)的应变速率

在测定屈服强度或塑性延伸强度后, 根据试样平行长度估计的应变速率(e_{Lc}) 在下述范围中(见图 9):

——范围 2 : $e_{Lc} = 0.000\ 25\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$;

——范围 3 : $e_{Lc} = 0.002\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$;

——范围 4 : $e_{Lc} = 0.006\ 7\ /s$, 相对偏差 $\pm 20\%$ ($0.4\ \text{min}^{-1}$, 相对偏差 $\pm 20\%$) (如果没有其他规定,推荐选取该速率)。

如果拉伸试验只测定抗拉强度, 范围3或范围4内的任一平行长度应变速率的估计值(e_{Lc}) 可适用于整个试验。



10.3.3 基于应力速率的试验速率(方法 B)

10.3.3.1 通则

试验速率取决于材料特性并应符合 10.3.3.2.1~10.3.3.2.5 和 10.3.3.3 。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 10.3.3.2.1~10.3.3.2.5 和 10.3.3.3 的规定。

注: 这里的方法 B 的意图并非是保持恒定的应力速率或闭环载荷控制的应力速率控制去测定屈服性能, 而只是设定横梁位移速率以实现在弹性区域的目标应力速率, 见表3 。当被测试样开始屈服时, 应力速率减小, 甚至当试样发生不连续屈服时可能变成负值。企图在屈服过程中保持一个恒定的应力速率需要试验机运行到一个相当高的速率, 在大多数情况下是不现实的也是不需要的。



10.3.3.2 测定屈服强度和规定强度的试验速率

10.3.3.2.1 上屈服强度(ReH)

试验机横梁位移速率应尽可能保持恒定, 并使相应的应力速率在表 3 规定的范围内。

注: 弹性模量小于 150 GPa 的典型材料包括锰、铝合金、铜和钛。弹性模量大于 150 GPa 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)/ GPa	应力速率(R)/(MPa · /s)	
	最小	最大
<150	2	20
≥150	6	60



10.3.3.2.2 下屈服强度(ReL)

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 $0.00025/s \sim 0.0025/s$ 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应超过表 3 规定的最大速率。

10.3.3.2.3 上屈服强度(ReH)和下屈服强度(ReL)

如在同一试验中测定上屈服强度和下屈服强度, 应满足测定下屈服强度的条件, 见 10.3.3.2.2 。



10.3.3.2.4 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。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) 此横梁位移速率应保持任何情况下应变速率不应超过 $0.0025 /s$ 。

10.3.3.2.5 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。



试验要求



10.3.3.3 测定抗拉强度(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_g)和断面收缩率(Z)的试验速率

测定屈服强度或塑性延伸强度后, 试验速率可以增加 to 不大于 $0.008/s$ 的应变速率(或等效的横梁位移速率)。

如果仅需要测定材料的抗拉强度, 在整个试验过程中可选取不超过 $0.008/s$ 的单一试验速率



10.3.4 试验条件的表示

为了用简单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 / T228.1 A nnn 或 GB / T228.1 B n

这里 “A” 定义为使用方法 A (基于应变速率的控制模式), “B” 定义为使用方法 B (基于应力速率的控制模式)。方法 A 中的符号 “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 / T228.1 A224 定义试验为基于应变速率的控制模式, 不同阶段的试验速率范围分别为 2, 2 和 4 。

示例 2 : GB / T228.1 B30 定义试验为基于应力速率的控制模式, 试验的名义应力速率为 30 MPa · /s 。

示例 3 : GB / T228.1 B 定义试验为基于应力速率的控制模式, 试验的名义应力速率符合表 3 。



11 上屈服强度的测定

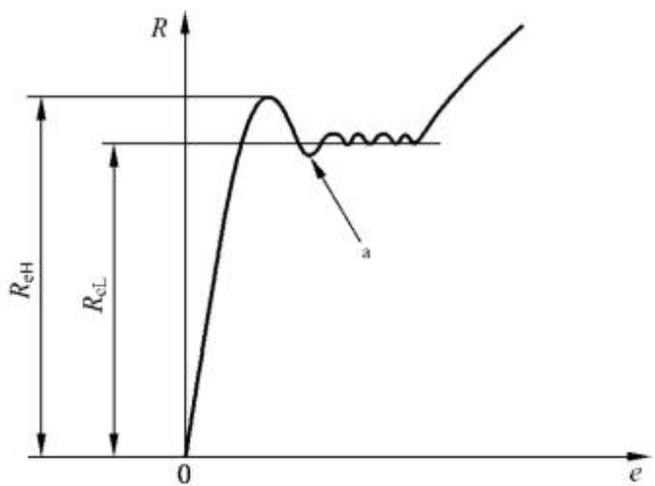
上屈服强度(ReH)可从力 - 延伸曲线图或峰值力显示器上测得, 定义为力首次下降前的最大力值对应的应力。 ReH 由该力除以试样的原始横截面积计算得到(见图 2)。

12 下屈服强度的测定

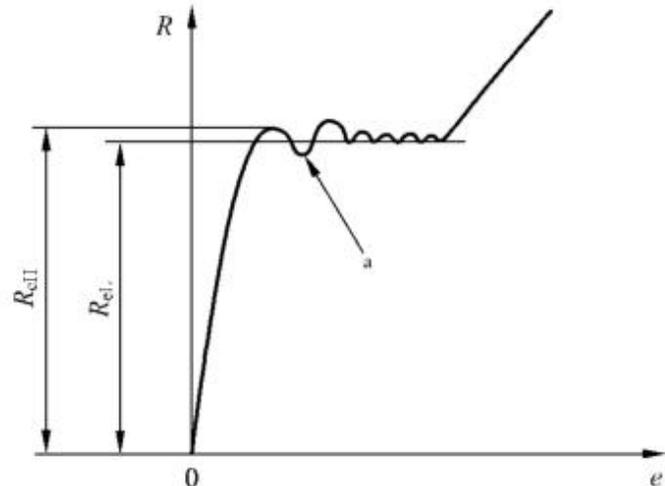
下屈服强度(ReL)可以从力 - 延伸曲线图测得, 定义为不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小力所对应的应力。 ReL 由该力除以试样的原始横截面积计算得到(见图 2)。



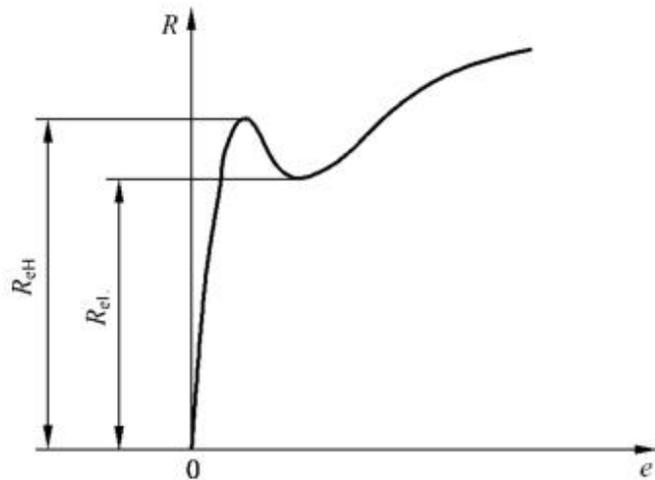
试验结果



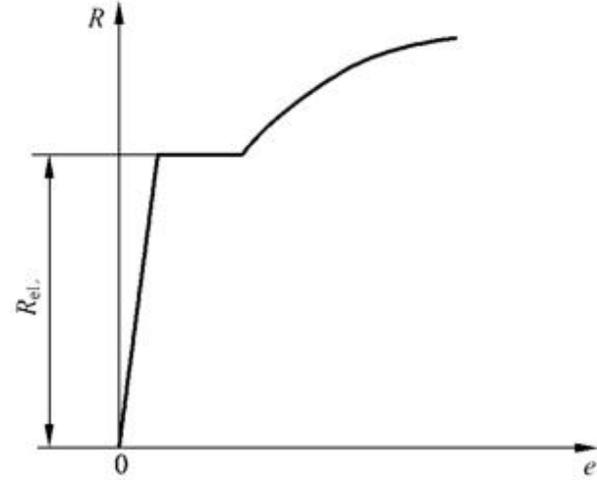
a)



b)



c)



d)

标引符号说明:

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



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) 正确的判定结果是下屈服强度低于上屈服强度。

在材料呈现明显屈服且不需测定屈服点延伸率的情况下: 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 10.3.2.4 或 10.3.3.3 增加。 试验报告应注明使用了此简捷方法。



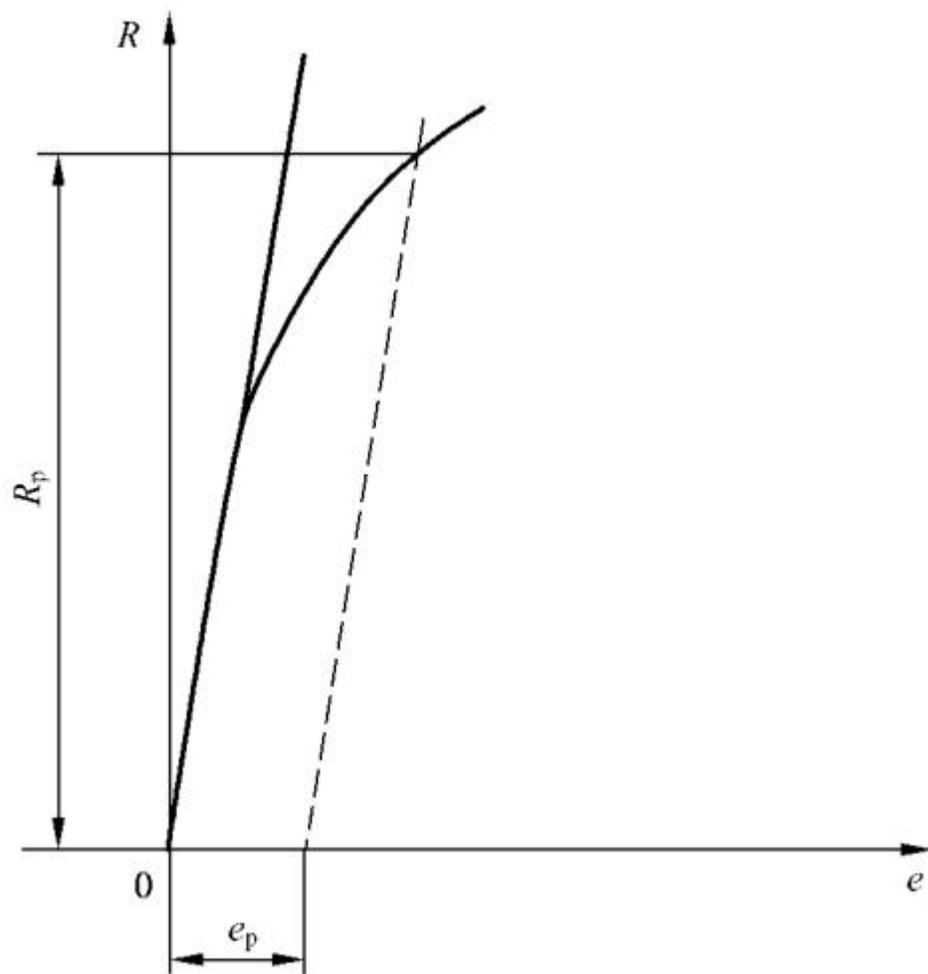
13 规定塑性延伸强度的测定

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, 画一条与曲线的弹性直线段部分平行的直线, 且在延伸轴上弹性直线段部分与此直线段的距离等于规定塑性延伸率, 例如 0.2% 。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划出这一平行线, 推荐采用如下方法(见图 6)。



试验结果



标引符号说明:

e —— 延伸率;

e_p —— 规定塑性延伸率;

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)



试验结果



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,过滞后环两端点画一直线。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。平行线与曲线的交截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:修正曲线的原点能够使用各种方法。划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截点即为曲线的修正原点(见图 6)。

宜注意保证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。

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 通过使用自动处理装置(例如微处理机等)或自动测试系统可不绘制力-延伸曲线图测定规定塑性延伸强度(见附录 C)。

13.3 可采用附录 J 提供的逐步逼近方法测定规定塑性延伸强度。



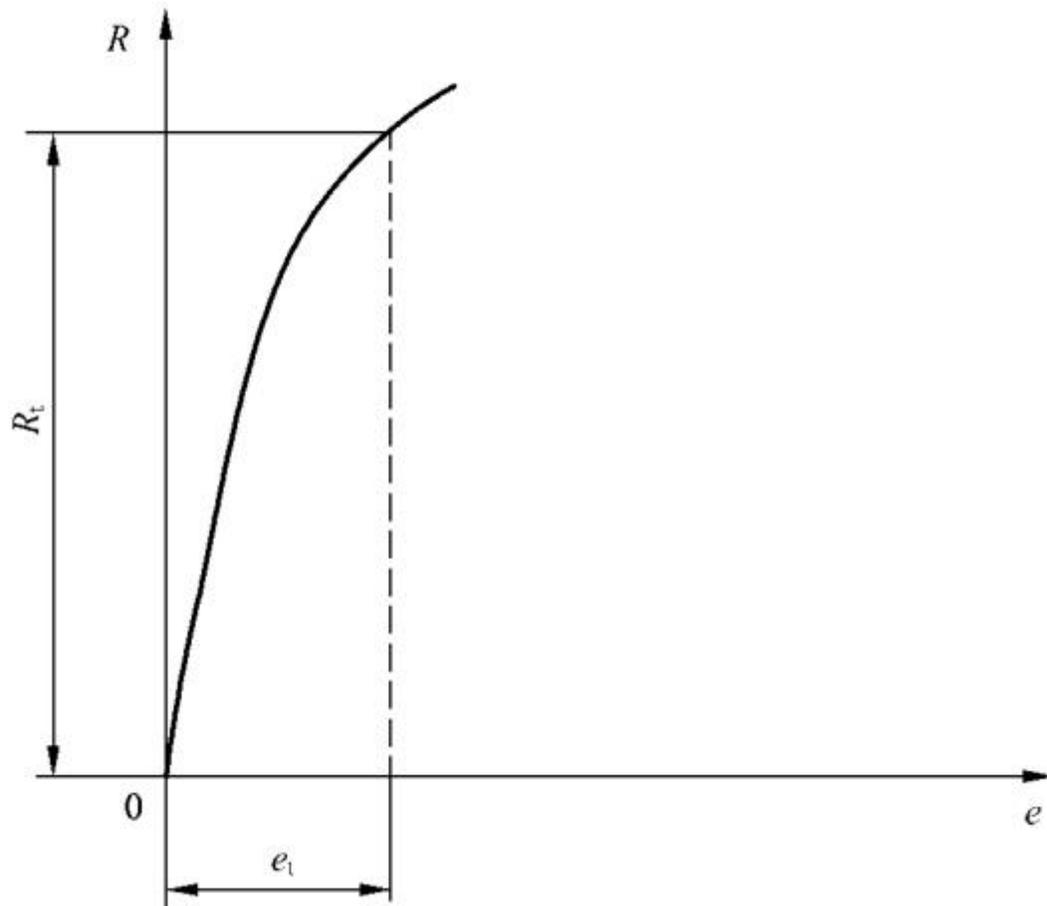
14 规定总延伸强度的测定

14.1 在力 - 延伸曲线图上, 划一条平行于力 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截点给出 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(见附录 C)。



试验结果



标引符号说明:

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)



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 10s~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: 这个验证试验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 “ $R_{r0.5} = 750 \text{ MPa}$ 通过” 意思是对试样施加 750 MPa 的应力, 产生的残余延伸小于或等于 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 提供了测定规定残余延伸强度的例子。



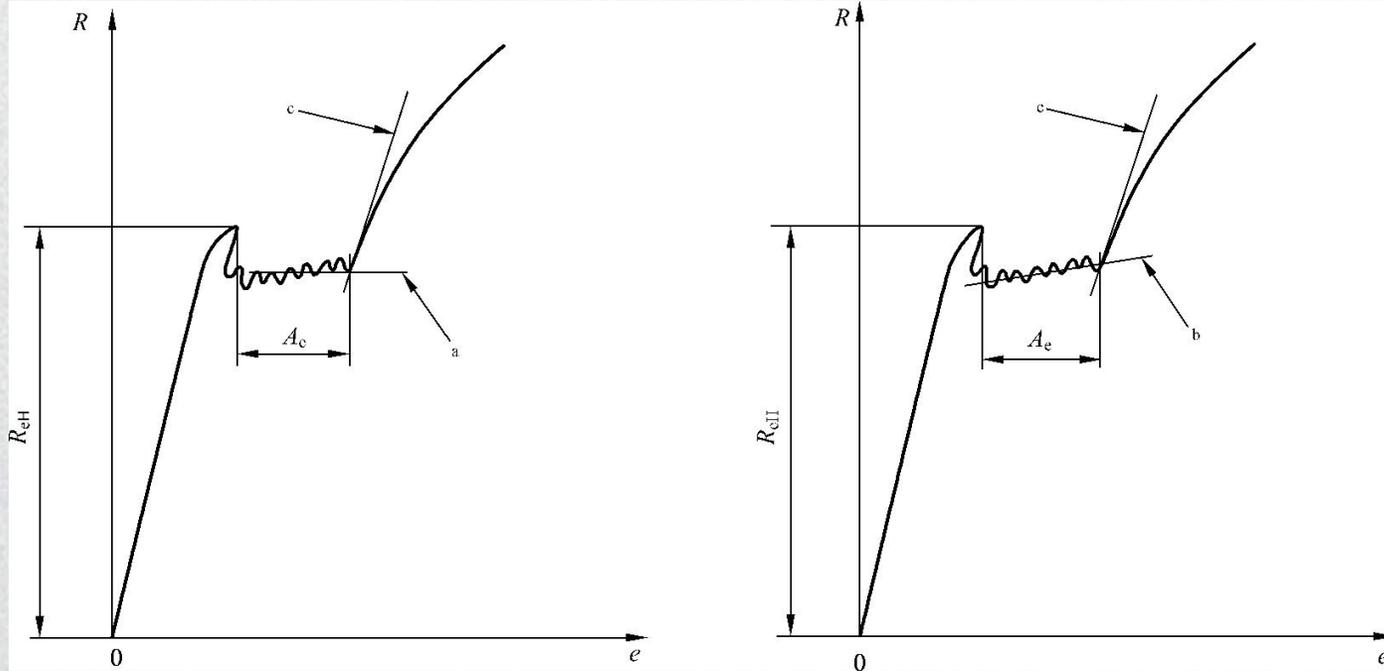
16 屈服点延伸率的测定

对于不连续屈服的材料, 从力 - 延伸曲线图上均匀加工硬化开始点的延伸减去上屈服强度 (ReH) 对应的延伸得到屈服点延伸率 (A_e)。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划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_e) 得到屈服点延伸率(见图 7)。

试验报告宜注明确定均匀加工硬化开始点的方法[见图 7a)或 b)]。



试验结果



标引 符号说明:

A_e ——屈服点延伸率;

e ——延伸率;

R ——应力;

R_{eH} ——上屈服强度。

a 经过均匀加工硬化前最后最小值点的水平线。

b 经过均匀加工硬化前屈服范围的回归线。

c 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)按照公式(3)进行计算:

$$A_g = \Delta L_m / L_e - R_m / mE \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

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



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})按照公式(4)计算:

$$A_{gt} = \Delta L_m / L_e \times 100 \dots\dots\dots(4)$$

注: 有些材料在最大力 时呈现一平台。当出现这种情况, 取最大力平台中点对应的总延伸率(见图 1)。



19 断裂总延伸率的测定

在用引伸计得到的力 - 延伸曲线图上测定断裂总延伸。断裂总延伸率(A_t)按照公式(5)
计算:

$$A_t = \Delta L_f / L_e \times 100 \dots\dots\dots(5)$$



20 断后伸长率的测定

20.1 应按照 3.4.2 的定义测定断后伸长率。

为了测定断后伸长率, 应将试样断裂的部分仔细地配接在一起使其轴线处于同一直线上, 并采取特别措施确保试样断裂部分适当接触后测量试样断后标距。这对小横截面试样和低伸长率试样尤为重要。

按公式(6)计算断后伸长率(A):

$$A = (L_u - L_o) / L_o \times 100 \dots\dots\dots(6)$$

应使用分辨力足够的量具或测量装置测定断后伸长量($L_u - L_o$), 并准确到 $\pm 0.25 \text{ mm}$ 。

如规定的最小断后伸长率小于 5% , 建议采取特殊方法进行测定(见附录 M)。原则上只有断裂处与最接近的标距标记的距离不小于原始标距的三分之一情况方为有效。但断后伸长率大于或等于规定值, 不管断裂位置处于何处测量均为有效。如断裂处与最接近的标距标记的距离小于原始标距的三分之一时, 可采用附录 N 规定的移位法测定断后伸长率。



20.2 能用引伸计测定断裂延伸的试验机, 引伸计标距应等于试样原始标距, 无需标出试样原始标距的标记。以断裂时的总延伸作为伸长测量时, 为了得到断后伸长率, 应从总延伸中扣除弹性延伸部分。为了得到与手工方法可比的结果, 有一些额外的要求(例如: 引伸计高的动态响应和频带宽度, 见 C.2.2)。

原则上, 断裂发生在引伸计标距(L_e)以内方为有效, 但断后伸长率等于或大于规定值, 不管断裂位置处于何处测量均为有效。如产品标准规定用一固定标距测定断后伸长率, 引伸计标距应等于这一标距。

20.3 试验前通过协议, 可以在一固定标距上测定断后伸长率, 然后使用换算式或换算表将其换算成比

例标距的断后伸长率(例如可以使用 GB / T17600.1 和 GB / T17600.2 的换算方法)。

注: 仅当标距或引伸计标距、横截面的形状和面积均为相同时, 或当比例系数(k)相同时, 断后伸长率才具有可比性。



21 断面收缩率的测定

应根据 3.8 “断面收缩率” 术语的定义测定断面收缩率。

如必要, 应将试样断裂部分仔细地配接在一起, 使其轴线处于同一直线上。

对于圆形试样, 测量相互垂直两个方向上的直径取其平均值计算最小横截面积(S_u)。

在进行读数时, 应注意确保断裂面没有移位。

按照公式(7)计算断面收缩率:

$$Z = (S_0 - S_u) / S_0 \times 100 \dots\dots\dots(7)$$

建议断裂后最小横截面积的测定准确到 $\pm 2\%$ (见图 13)。

对于小直径的圆试样或其他横截面形状的试样, 断后横截面积的测量准确度达到 $\pm 2\%$ 很困难。



21 断面收缩率的测定

应根据 3.8 “断面收缩率” 术语的定义测定断面收缩率。



22 试验结果数值的修约

试验测定的性能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, 应根据GB/T 8170 按如下要求进行修约:

- 强度性能值修约至 1MPa ;
- 屈服点延伸率修约至 0.1% , 其他延伸率和断后伸长率修约至 0.5% ;
- 断面收缩率修约至 1%



23 试验报告

试验报告应至少包括以下信息, 除非双方另有约定:

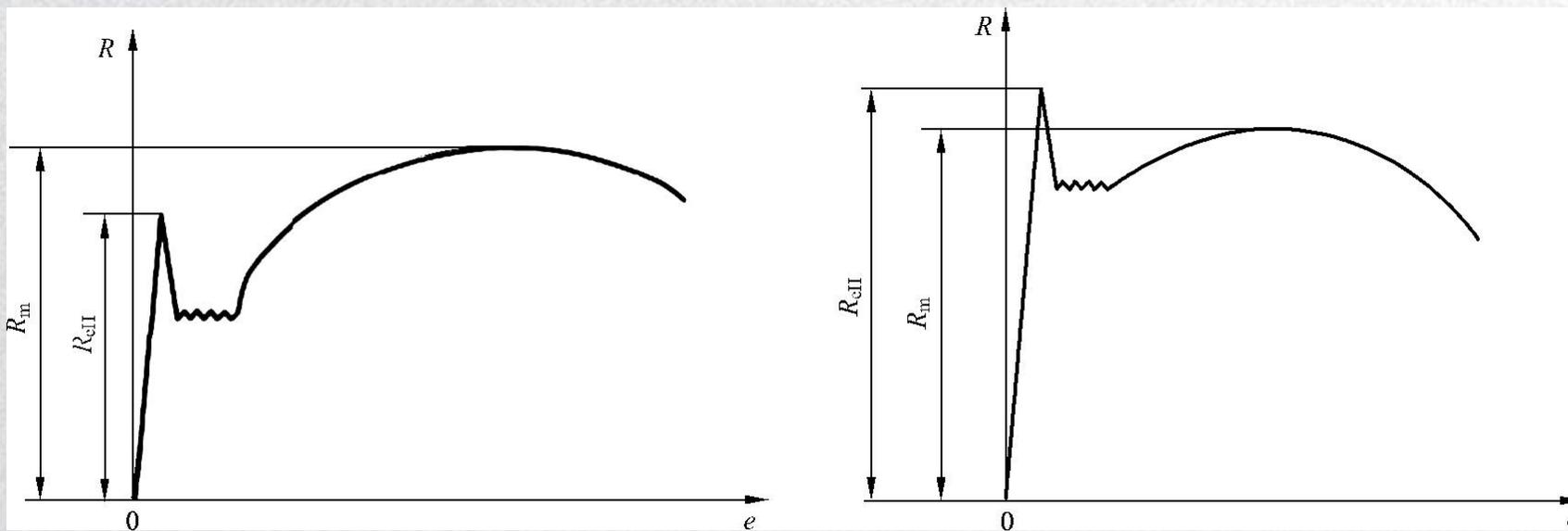
- a) 本文件编号;
- b) 试验条件信息(如 10.3.4 的要求);
- c) 试样标识;
- d) 材料名称、牌号(如已知);
- e) 试样类型;
- f) 试样的取样方向和位置(如已知);
- g) 试验控制模式和试验速率或试验速率范围(见 10.3.1), 如果与10.3.2 和 10.3.3推荐的方法不同;
- h) 试验结果。



24.3 试验结果

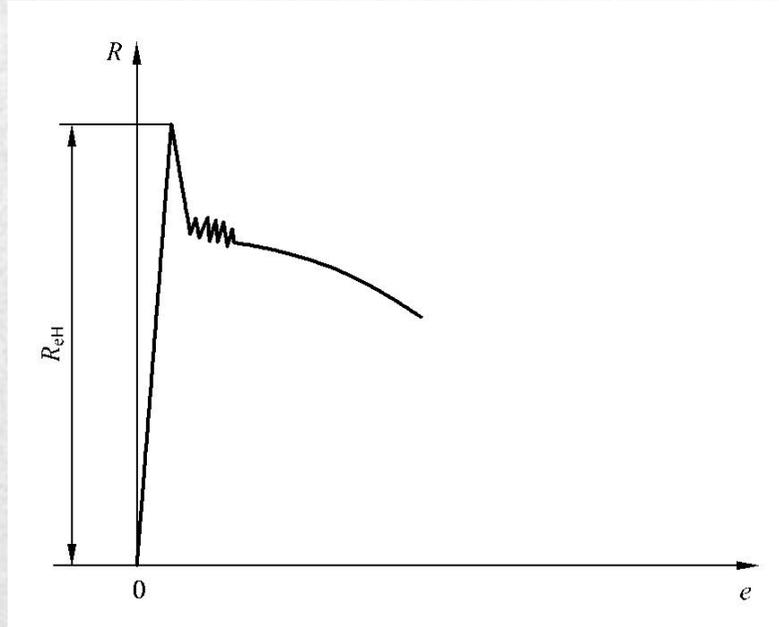
估计的测量不确定度不应与测量结果组合来评判是否满足产品标准要求, 除非客户特别指明。

有关不确定度见附录O和附录P, 附录O提供了与溯源参数相关的不确定度的评定指南, 附录P提供了一组钢和铝合金实验室间的比对结果来测定不确定度的指南。





试验结果



c)应力 - 延伸率状态的特殊情况 a

标引 符号说明:

e ——延伸率;

R ——应力;

ReH ——上屈服强度;

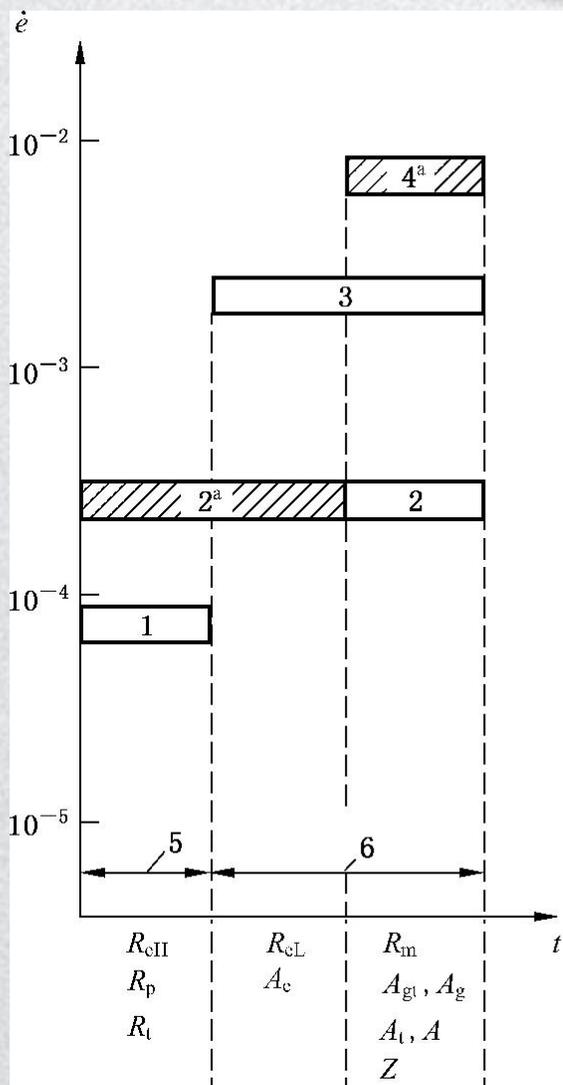
Rm ——抗拉强度。

a呈现图 8c)应力 - 延伸率状态的材料, 按照本文件无确定的抗拉强度。双方可以另 做协议。

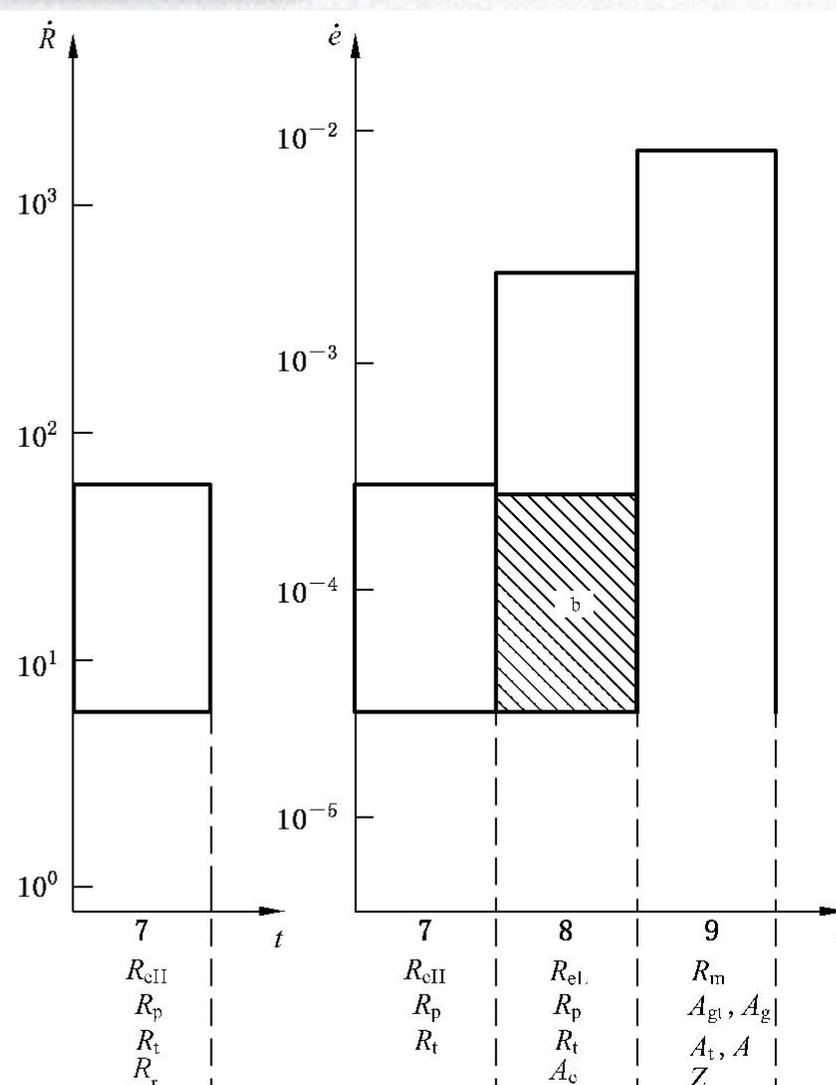
图 8 从应力 - 延伸率曲线测定抗拉强度(Rm)的几种不同类型



试验结果



a) 方法 A



b) 方法 B



试验结果



标引符号与序号说明:

e —— 应变速率;

R —— 应力速率;

t —— 拉伸试验时间进程;

1 —— 范围 1 : $\dot{\epsilon} = 0.00007 \text{ /s}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

2 —— 范围 2 : $\dot{\epsilon} = 0.00025 \text{ /s}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

3 —— 范围 3 : $\dot{\epsilon} = 0.002 \text{ /s}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

4 —— 范围 4 : $\dot{\epsilon} = 0.0067 \text{ /s}$, 相对误差 $\pm 20\%$ (0.4 min^{-1} , 相对误差 $\pm 20\%$);

5 —— 引伸计控制(方法 A1 闭环) 或横梁控制(方法 A2 开环);

6 —— 横梁控制(方法 A2 开环);

7 —— 试验的弹性范围;

8 —— 测定 R_{eL} 、 R_p 、 R_t 、 A_e 的塑性范围;

9 —— 测定 R_m 、 A_g 、 A_{gt} 、 A 、 A_t 和 Z 的最大应变速率。

注 1 : 符号参照表 1。

注 2 : 方法 B 弹性范围的应变速率根据应力速率和使用 210 GPa 弹性模量计算的。

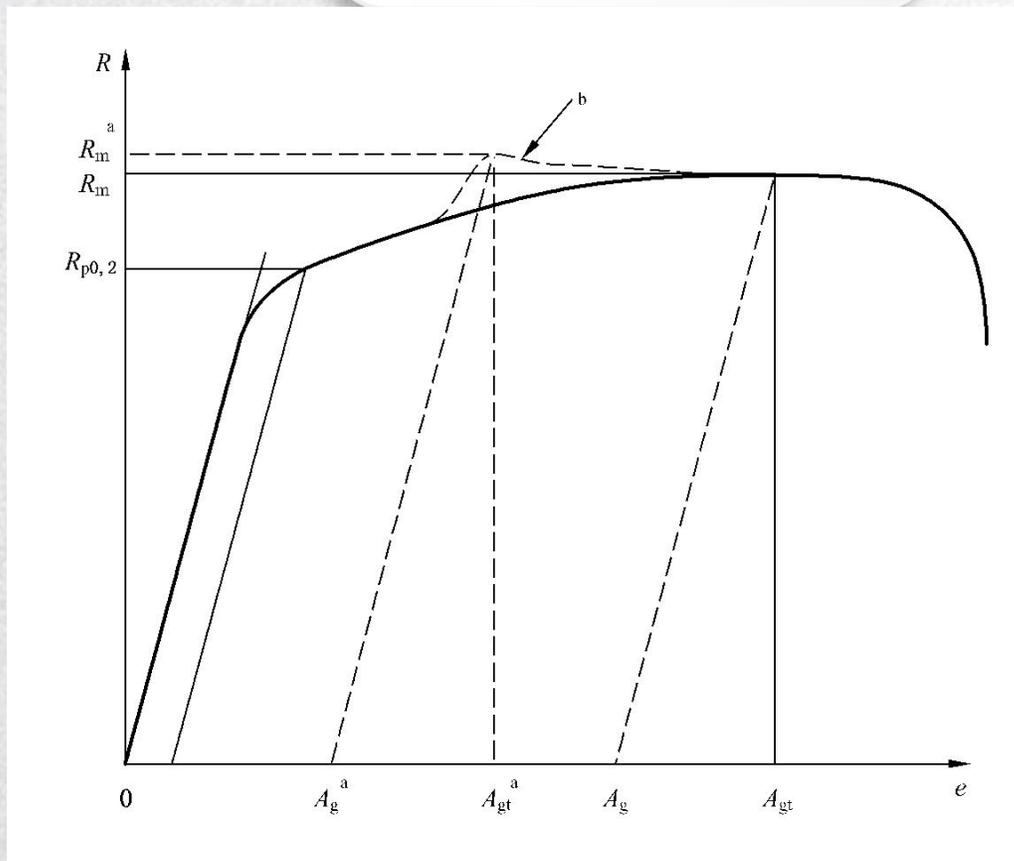
a 推荐的。

b 如果试验机不能测量或控制应变速率, 可扩展至较低速率的范围(见 10.3.3.2.5)。

图 9 拉伸试验中测定 R_{eH} 、 R_{eL} 、 R_p 、 R_t 、 R_r 、 R_m 、 A_e 、 A_g 、 A_{gt} 、 A 、 A_t 和 Z 时应选用的应变速率范围



试验结果



标引 符号说明:

e —— 延伸率;

R —— 应力。

注: 参数定义见表 1。

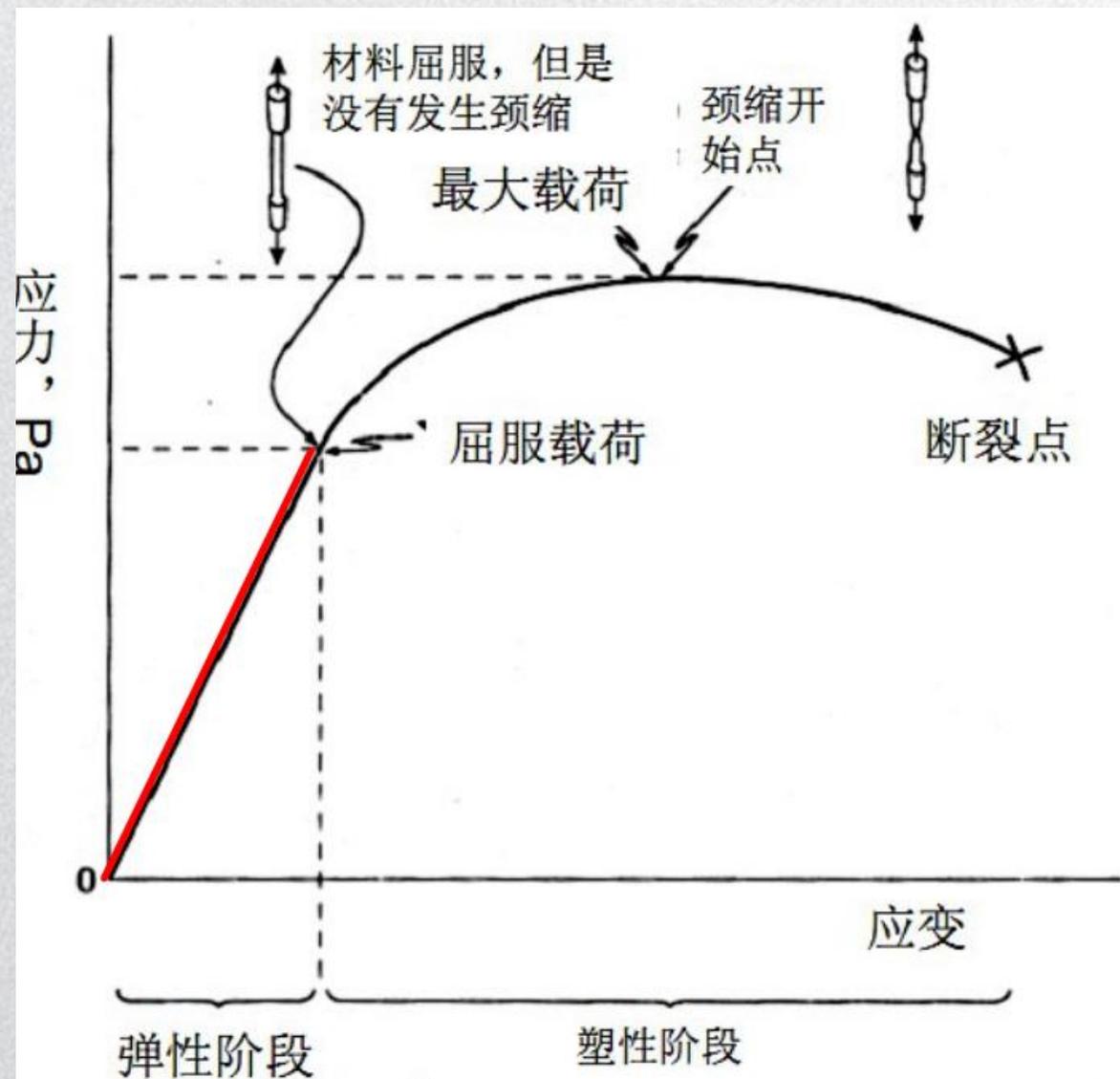
a非真实值, 产生了突然的应变速率增加。

b如果应变速率突然增加时的应力 - 应变行为。

图 10 在应力 - 应变曲 线上不应存在的不连续性示例

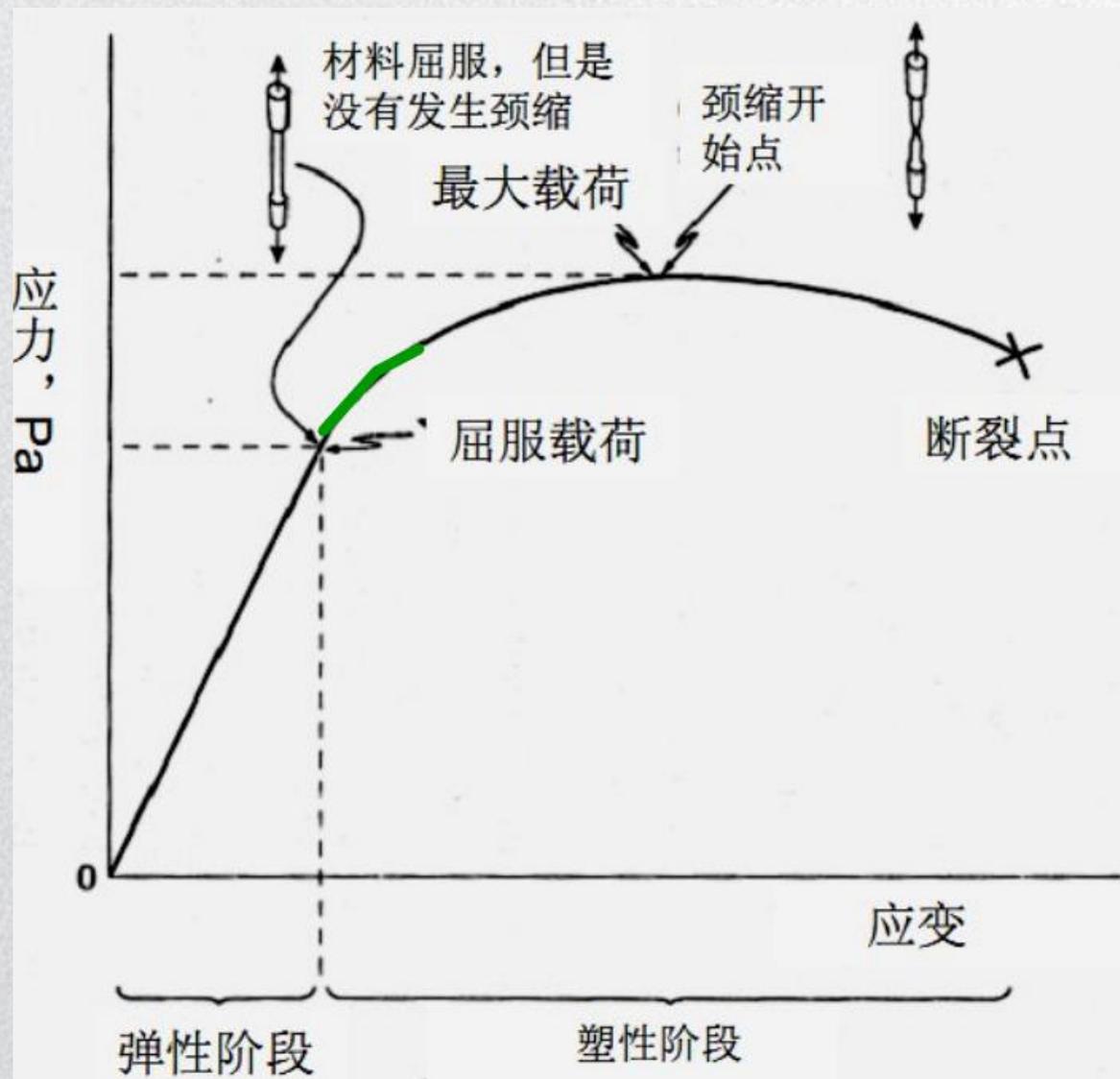


弹性变形阶段



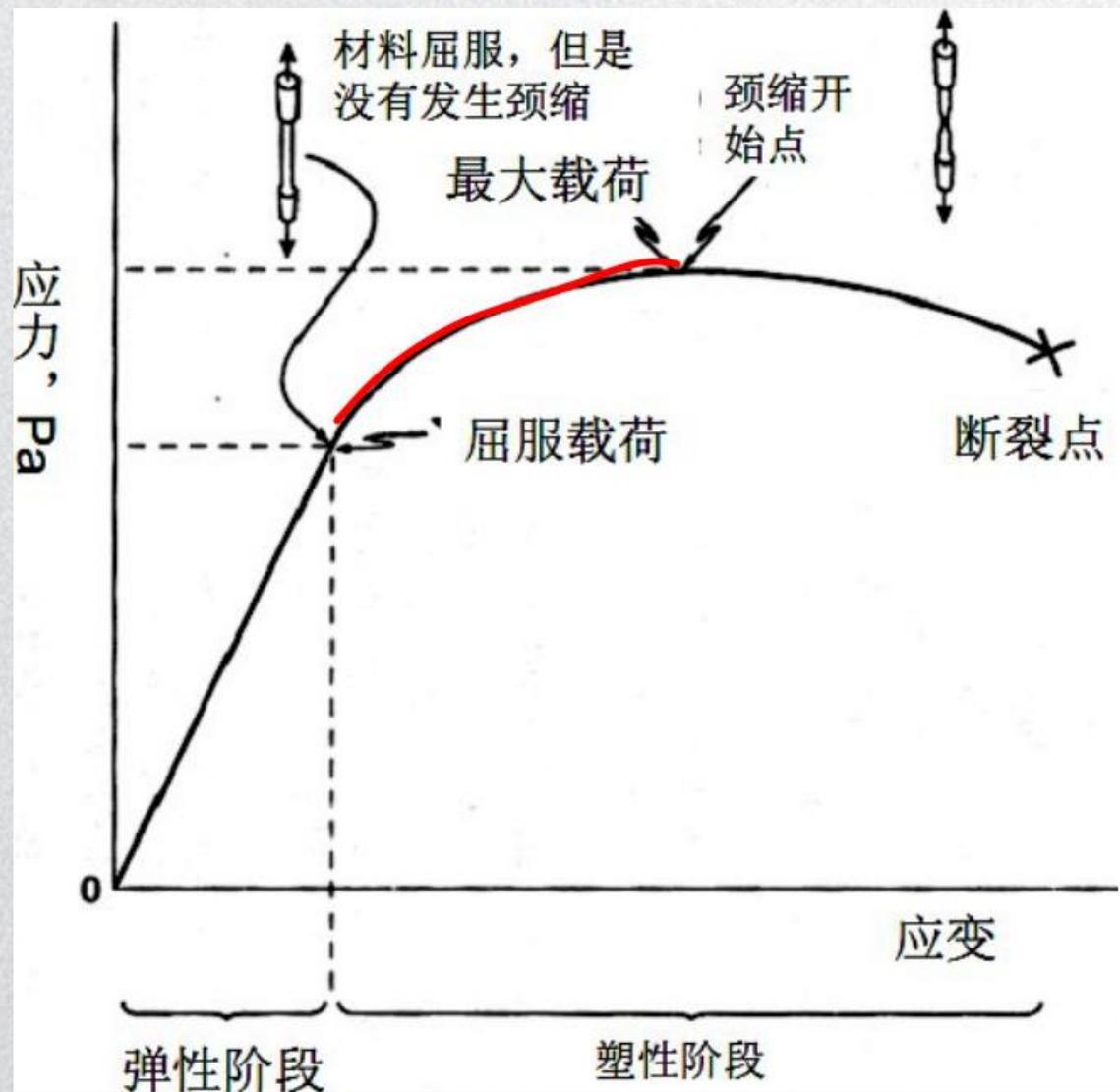


屈服阶段



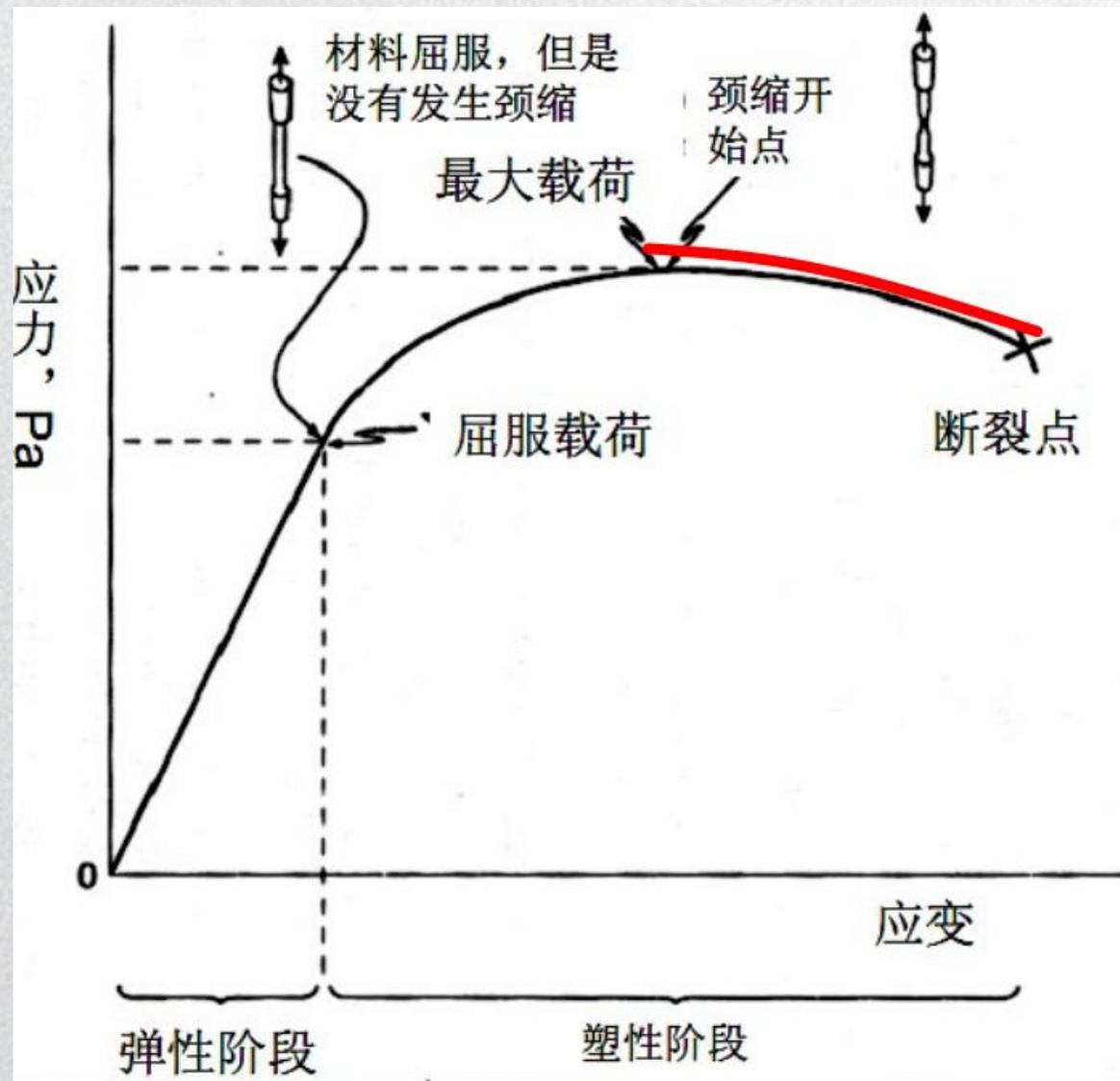


塑性变形阶段



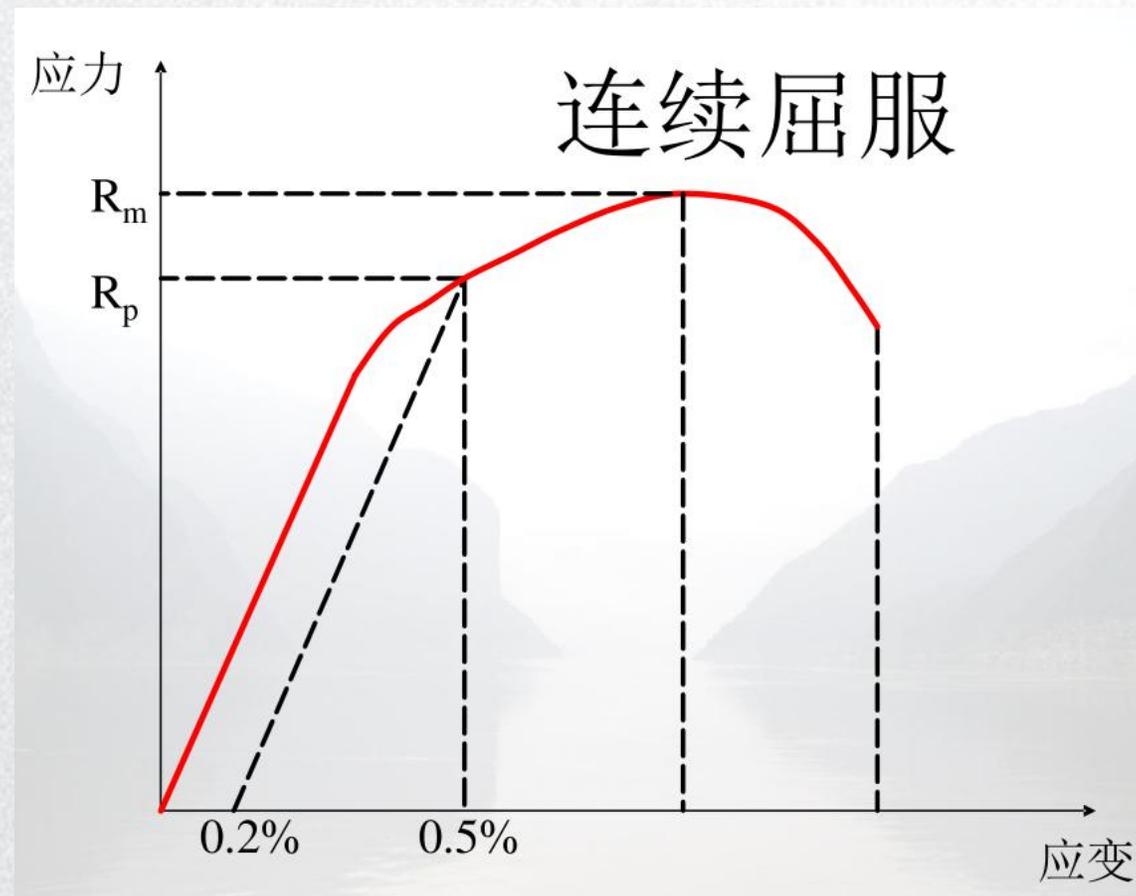
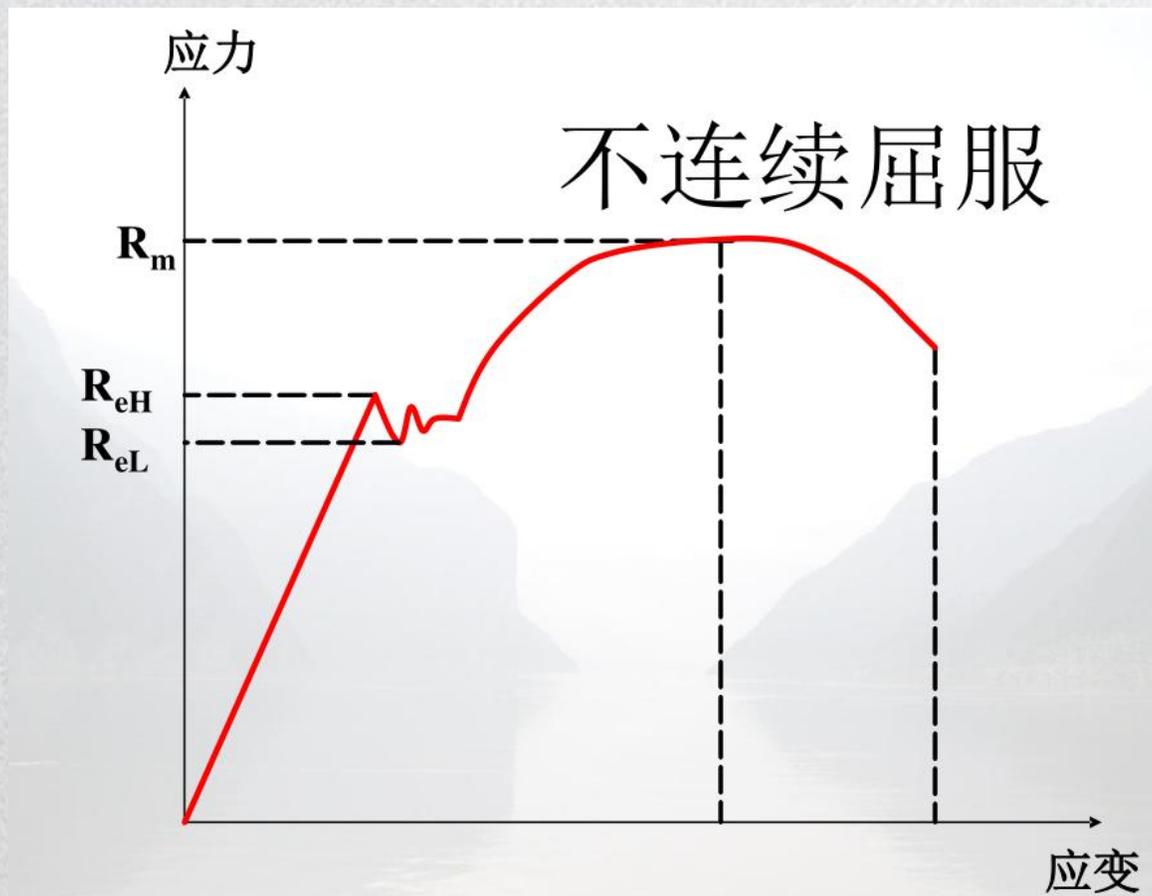


缩颈阶段



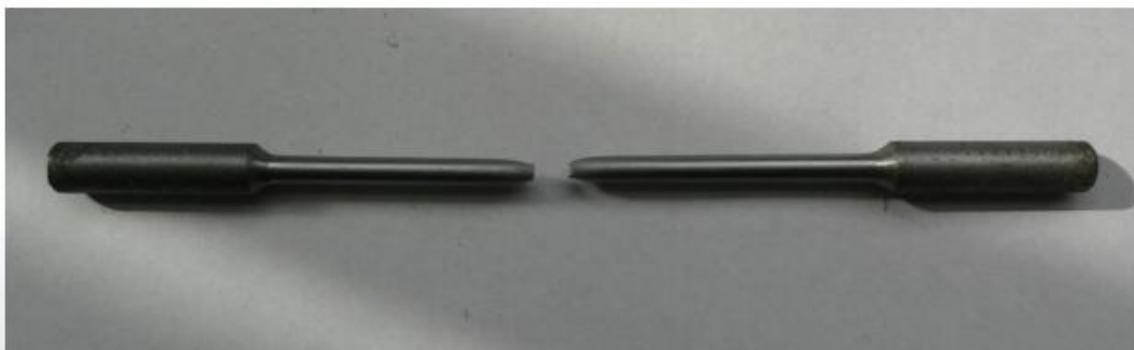


屈服特征

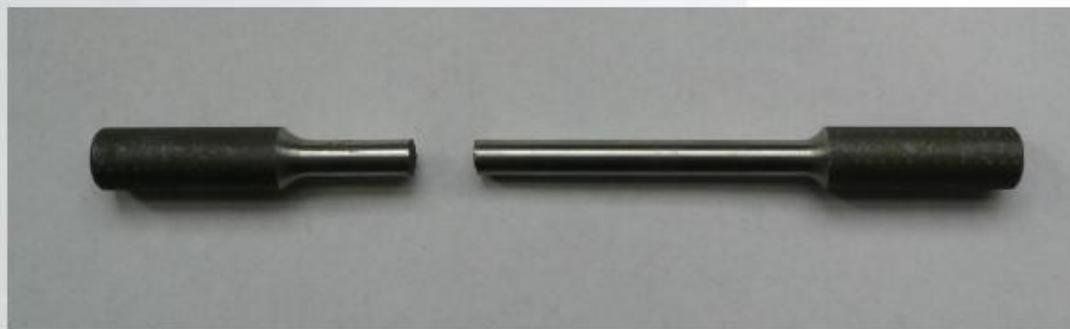




缩颈特征



- **低碳钢拉伸试样：有颈缩**



- **铸铁拉伸试样：无颈缩**



山东力试检测科技有限公司

金属材料拉伸试验
第 1 部分: 室温试验方法讲解