

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100 \quad \dots\dots\dots (3)$$

式中：
 L_e ——引伸计标距；
 ΔL_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 按照式(4) 计算：

$$A_t = \frac{\Delta L_t}{L_e} \times 100 \quad \dots\dots\dots (4)$$

式中：
 L_e ——引伸计标距；
 ΔL_t ——断裂总延伸。

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。

按式(5)计算断后伸长率 A ：

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (5)$$

式中：
 L_0 ——原始标距；
 L_u ——断后标距。

应使用分辨力足够的量具或测量装置测定断后伸长量($L_u - L_0$)，并准确到±0.25 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（参见附录 G）。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 H 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 A.3.2）。

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，然后使用换算公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/T 17600.1 和 GB/T 17600.2 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

按照定义 3.8 测定断面收缩率。

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。断裂后最小横截面积的测定应准确到±2%(见图 13)。原始横截面积与断后最小横截面积之差除以原始横截面积的百分率得到断面收缩率,按照式(6)计算。

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100 \quad \dots\dots\dots (6)$$

式中:

S_0 ——平行长度部分的原始横截面积;

S_u ——断后最小横截面积。

注: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±2%很困难。

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,应按照如下要求进行修约:

- 强度性能值修约至 1 MPa;
- 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) 本部分国家标准编号;
- b) 注明试验条件信息(如 10.6 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 10.6),如果与 10.3 和 10.4 推荐的方法不同;
- h) 试验结果。

24 测量不确定度

24.1 总则

测量不确定度分析对于辨识测量结果不一致性的主要来源是很有用的。

基于 GB/T 228 的本部分得到的产品标准和材料性能的数据库以及较早版本的 GB/T 228 对测量不确定度都有内在的贡献。因此根据测量不确定度进行调整是不恰当的,为了顺从失效产品而冒险也是不恰当的。正因为此,按照以下步骤推导出来的不确定度的估计值也仅仅是个参考值,除非客户特别指明。

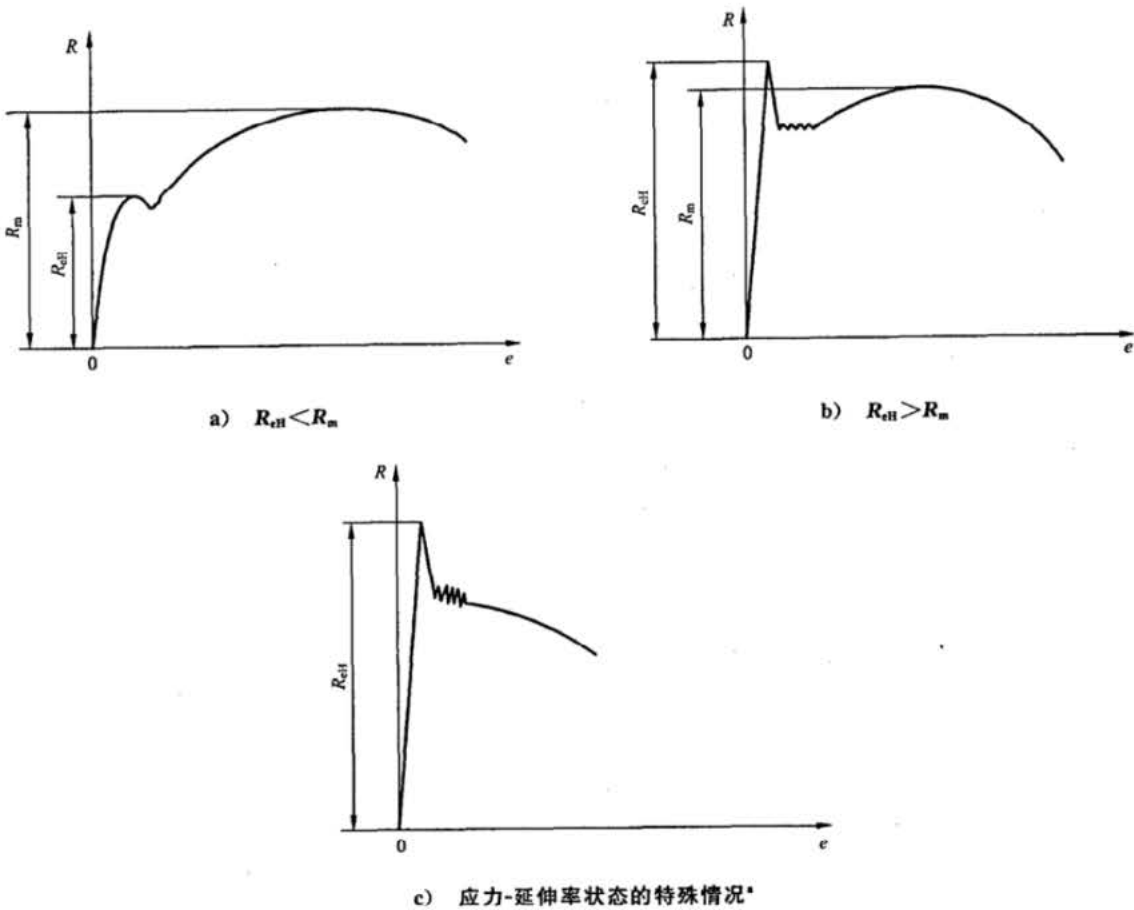
24.2 试验条件

GB/T 228 的本部分规定的试验条件和极限不应考虑测量不确定度而进行调整,除非客户特别指明。

24.3 试验结果

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

有关不确定度参见附录 L 和附录 M,附录 L 提供了拉伸试验结果不确定度的评定范例,附录 M 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。还有利用准拉伸标样来评定不确定度的,参见文献^[3]。



说明:

e —— 延伸率;

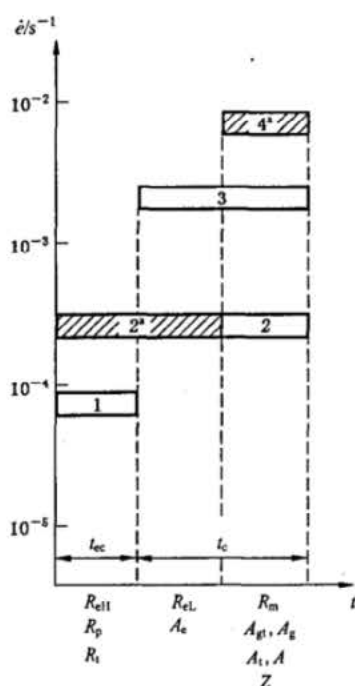
R —— 应力;

R_{eH} —— 上屈服强度;

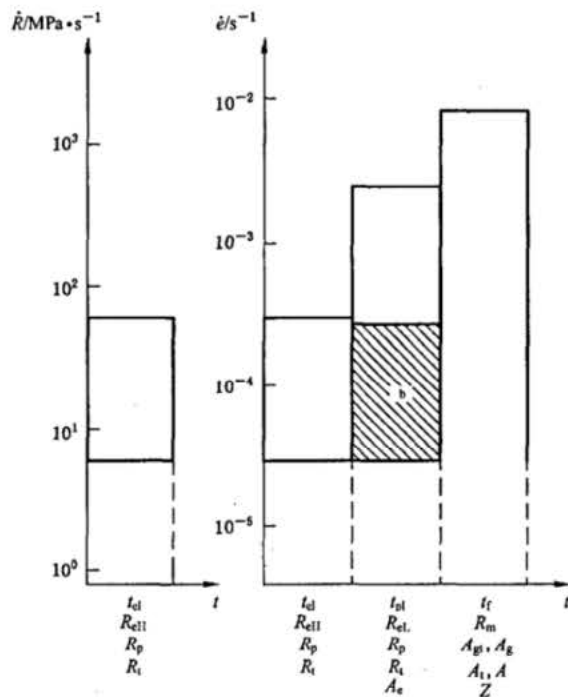
R_m —— 抗拉强度。

* 呈现图 8c) 应力-延伸率状态的材料,按照本标准无确定的抗拉强度。双方可以另做协议。

图 8 从应力-延伸率曲线测定抗拉强度 R_m 的几种不同类型



a) 方法 A



b) 方法 B

说明:

$\dot{\epsilon}$ ——应变速率;

$\dot{R}$ ——应力速率;

t ——拉伸试验时间进程;

t_c ——横梁控制时间;

t_{ec} ——引伸计控制时间或横梁控制时间;

t_{el} ——测定表 1 列举的弹性性能参数的时间范围;

t_f ——测定表 1 列举的通常到断裂的性能参数的时间范围;

t_{pl} ——测定表 1 列举的塑性性能参数的时间范围;

1 ——范围 1: $\dot{\epsilon}=0.000\ 07\ \text{s}^{-1}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

2 ——范围 2: $\dot{\epsilon}=0.000\ 25\ \text{s}^{-1}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

3 ——范围 3: $\dot{\epsilon}=0.002\ 5\ \text{s}^{-1}$, 相对误差 $\pm 20\%$;

4 ——范围 4: $\dot{\epsilon}=0.006\ 7\ \text{s}^{-1}$, 相对误差 $\pm 20\%$ ($0.4\ \text{min}^{-1}$, 相对误差 $\pm 20\%$);

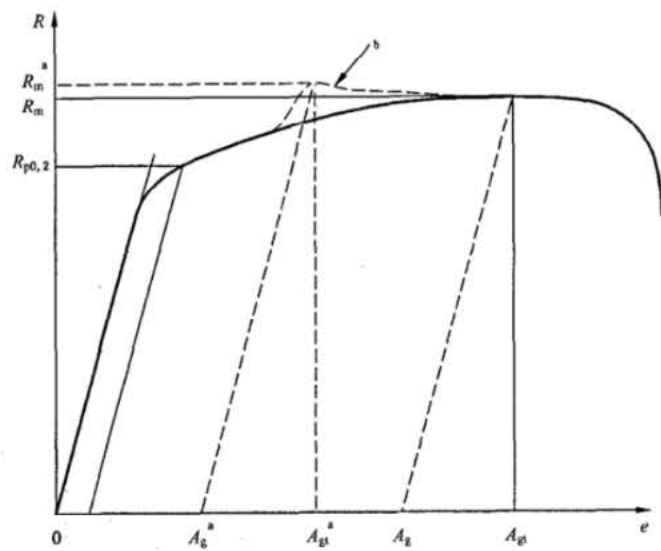
5 ——引伸计控制或横梁控制;

6 ——横梁控制。

^a 推荐的。

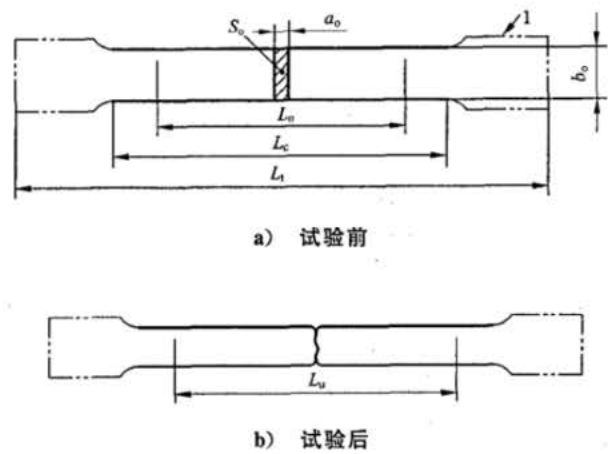
^b 如果试验机不能测量或控制应变速率, 可扩展至较低速率的范围 (见 10.4.2.5)。

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



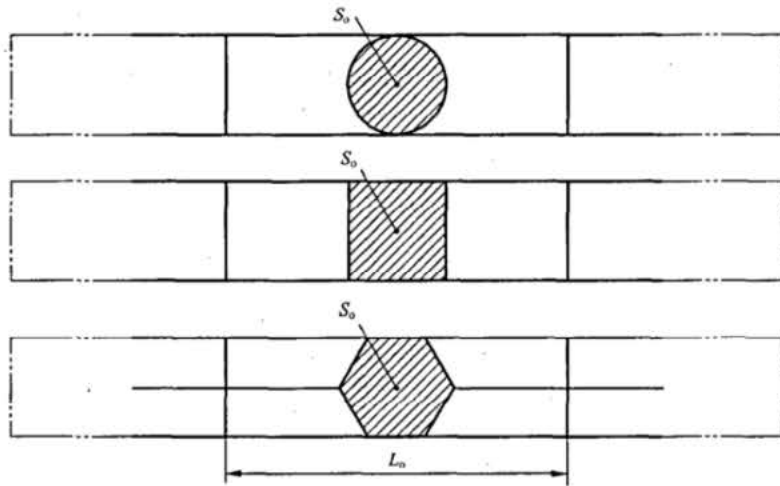
说明：
 e —— 延伸率；
 R —— 应力。
* 非真实值，产生了突然的应变速率增加。
b 应变速率突然增加时的应力-应变行为。
注：参数定义见表 1。

图 10 在应力-应变曲线上不允许的不连续性示例



说明：
 a_0 —— 板试样原始厚度或管壁原始厚度；
 b_0 —— 板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 B 和附录 D)

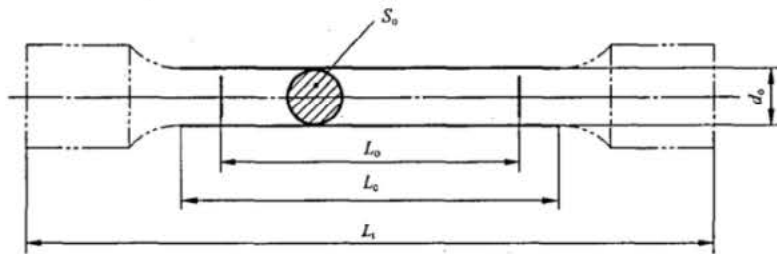


说明:

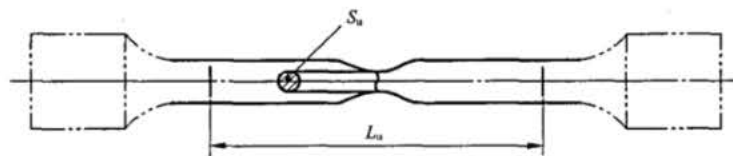
L_0 ——原始标距;

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 C)



a) 试验前



b) 试验后

说明:

d_0 ——圆试样平行长度的原始直径;

L_0 ——原始标距;

L_e ——平行长度;

L_1 ——试样总长度;

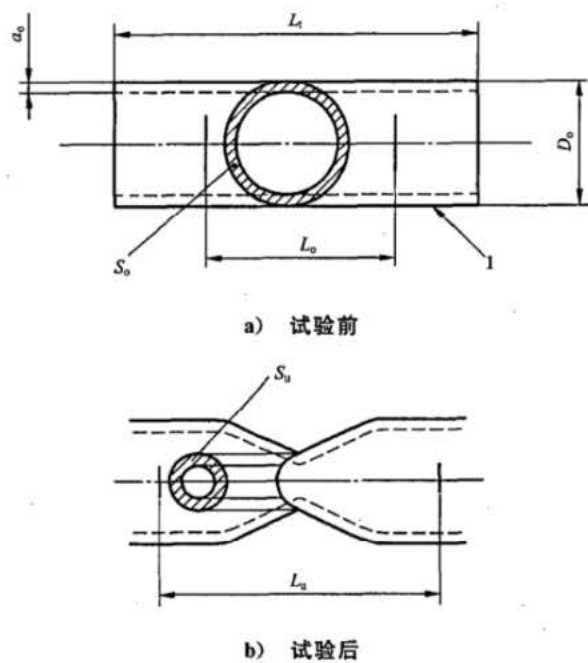
L_a ——断后标距;

S_0 ——平行长度的原始横截面积;

S_u ——断后最小横截面积。

注: 试样头部形状仅为示意性。

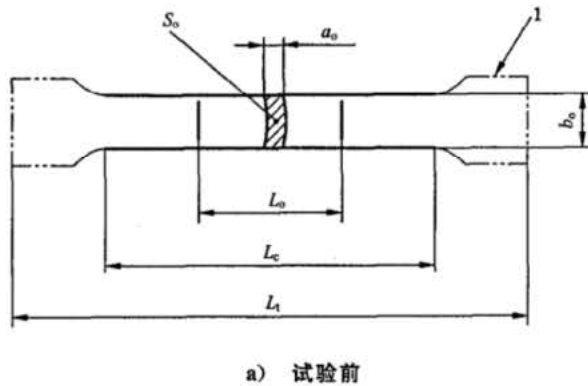
图 13 圆形横截面机加工试样(见附录 D)



说明：

a_0 —— 原始管壁厚度；	L_a —— 断后标距；
D_0 —— 原始管外直径；	S_0 —— 平行长度的原始横截面积；
L_0 —— 原始标距；	S_a —— 断后最小横截面积；
L_t —— 试样总长度；	1 —— 夹持头部。

图 14 圆管管段试样(见附录 E)

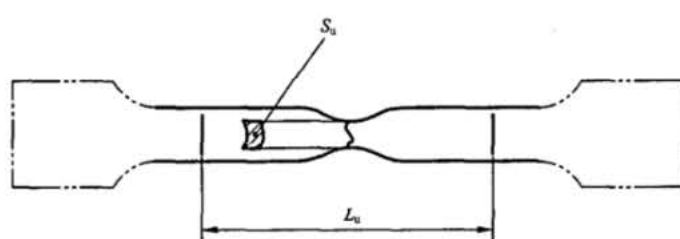


说明：

a_0 —— 原始管壁厚度；	L_a —— 断后标距；
b_0 —— 圆管纵向弧形试样原始宽度；	S_0 —— 平行长度的原始横截面积；
L_0 —— 原始标距；	S_a —— 断后最小横截面积；
L_c —— 平行长度；	1 —— 夹持头部。
L_t —— 试样总长度；	

注：试样头部形状仅为示意性。

图 15 圆管的纵向弧形试样(见附录 E)



b) 试验后

图 15 (续)

附 录 A
(资料性附录)
计算机控制拉伸试验机使用的建议

A.1 总则

本附录包含了利用计算机控制的拉伸试验机测定力学性能的附加建议。尤其是提出了应考虑软件和试验条件的建议。
这些建议与设计试验机的软件、软件的有效性和拉伸试验的条件相关。

A.2 术语和定义

下列术语和定义适用于本附录。

A.2.1

计算机控制的拉伸试验机 **computer-controlled tensile testing machine**
用于监控试验的机器,由计算机进行数据采集和处理。

A.3 拉伸试验机

A.3.1 设计

试验机在设计时应考虑能够通过软件提供不加处理的模拟信号的输出。如果不能提供这种输出,机器的制造商应该给出原始数据是如何通过软件获取和处理的。应该以基本的 SI 单位给出力、延伸、时间和试样尺寸。如果机器被升级,这些数据应该被修正。图 A.1 给出了适合的数据文献格式的例子。

A.3.2 数据采集频率

对于每一个测量通道的机械和电子元件的频带宽度和采样频率应足够高,以便记录被测材料特性。例如为了测 R_{eH} ,根据式(A.1)测定最小采样频率 f_{min} :

$$f_{min} = \frac{\dot{\epsilon} \times E}{R_{eH} \times q} \times 100 \dots\dots\dots (A.1)$$

- 式中:
- f_{min} ——最小采样频率,单位为每秒(s^{-1});
 - $\dot{\epsilon}$ ——应变速率,单位为每秒(s^{-1});
 - E ——弹性模量,单位为兆帕(MPa);
 - R_{eH} ——上屈服强度,单位为兆帕(MPa);
 - q ——试验机测力系统的准确度级别。

式(A.1)中选用 R_{eH} ,是由于在试验过程中的瞬时效应决定的。如果被测材料没有屈服现象,将选用规定塑性延伸强度 $R_{p0.2}$ 而且要求的最小采样频率可以减半。

如果用应力速率控制的方法 B,利用式(A.2)计算最小采样频率 f_{min} :

$$f_{\min} = \frac{\dot{R}}{R_{\text{eH}} \times q} \times 100 \dots\dots\dots (A.2)$$

式中：
 $\dot{R}$ ——应力速率，单位为兆帕每秒(MPa s⁻¹)。

A.4 力学性能的测定

A.4.1 总则

试验机的软件应考虑下列要求：

A.4.2 上屈服强度和下屈服强度

A.4.2.1 上屈服强度

在 3.10.2.1 中定义的 R_{eH} 应该被认为是力值在下降至少 0.5% 之前最高力对应的应力值，并且在
其随后应变范围不小于 0.05% 的区域，力没有超过先前的最大值。

A.4.2.2 下屈服强度

在 3.10.2.2 中定义的 R_{eL} 应满足第 12 章中下屈服强度位置判定的基本原则。

A.4.3 规定塑性延伸强度和规定总延伸强度

3.10.3 和 3.10.4 定义的 R_p 和 R_t 这两种性能可以通过曲线上相邻点的内插来确定。

A.4.4 最大力总延伸率

在 3.6.4 定义的 A_g (见图 1) 被认为是屈服点之后的应力-延伸率曲线上最大力对应的总延伸。

对于某些材料是有必要推荐用多项式回归的方法进行应力-应变曲线的光滑处理。光滑处理的范
围对试验结果可能会产生影响。光滑处理后的曲线应该合理地表征原始应力-延伸率曲线的相关部分
的特征。

A.4.5 最大力塑性延伸率

在 3.6.5 定义的 A_g (见图 1) 被认为是屈服点之后的应力-延伸率曲线上最大力对应的塑性延伸。

对于某些材料有必要对应力-延伸率曲线进行光滑处理，推荐用多项式回归方法。光滑处理的范围
可能会对试验结果产生影响。光滑处理后的曲线应合理表征原始应力-延伸率曲线的相关部分。

A.4.6 断裂总延伸率

A.4.6.1 应参照图 A.2 中断裂的定义测定 A_t 。

当两个相邻力值点衰减满足下面两个条件之一时，断裂被认为有效。

- a) 如果两相邻点间的力的衰减量大于前两点间力的衰减量的 5 倍，而随后一点的力值小于最大
力的 2%；
- b) 低于最大力值的 2% (软材料)。

另外还有一种测定试样断裂点的方法是监测试样上的电压或电流，把试样上的电流中断前的测量
值看作断裂值。

```

"Reference";"ISO 6892"
"Identification";"TENSTAND"
"Material";"DC 04 Steel"
"Extensometer to crosshead transition";0.00;"%"
"Specimen geometry";"flat"
"Specimen thickness = ao"
"Specimen width = bo"
"Cross-sectional area = So"
"Extensometer gauge length = Le"
A { "Extensometer output in mm"
    "Parallel length = Lc"
    "Data acquisition rate 50Hz"
    "Data row for start force reduction (Hysteresis) = Hs"
    "Data row for end force reduction (Hysteresis) = He"
    "Data row for switch to crosshead = Cs"
    "File length N data rows"
    "File width M data columns"
    .
    .
    "ao";0.711;"mm"
    "bo";19.93;"mm"
    "So";14.17;"mm2"
    "Le";80.00;"mm"
    "Lc";120.00;"mm"
B { "N";2912
    "M";4
    "Hs";0
    "He";0
    "Cs";0
    .
    .
    "time";"crosshead";"extensometer";"force"
    "s";"mm";"mm";"kN"
    .
    .
    0.40;0.0012;0.0000;0.12694
    0.42;0.0016;0.0000;0.12992
    0.44;0.0020;0.0001;0.13334
    0.46;0.0024;0.0002;0.13699
    0.48;0.0029;0.0003;0.14114
C { 0.50;0.0035;0.0004;0.14620
    0.52;0.0041;0.0006;0.15124
    0.54;0.0047;0.0007;0.15669
    0.56;0.0054;0.0008;0.16247
    0.58;0.0060;0.0009;0.16794
    0.60;0.0067;0.0012;0.17370
    0.62;0.0074;0.0013;0.17980
    0.64;0.0082;0.0014;0.18628
    .
    .

```

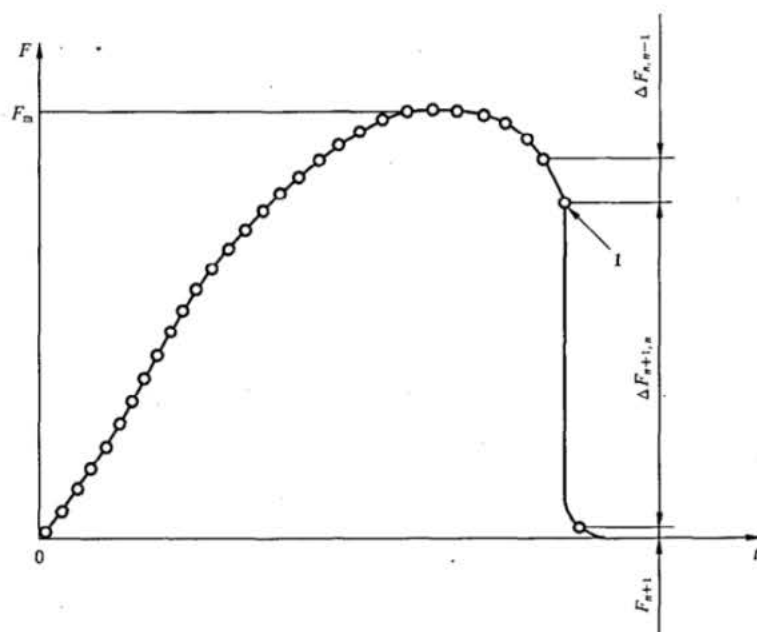
说明:

A——程序开始;

B——试验参数和试样尺寸;

C——数据。

图 A.1 适合的数据文件格式范例



说明:

F ——力;

F_m ——最大力;

F_{n+1} —— $n+1$ 测量点的力值;

$\Delta F_{n,n-1}$ —— n 和 $n-1$ 测量点之间力值差;

$\Delta F_{n+1,n}$ —— $n+1$ 和 n 测量点之间力值差;

t ——时间;

1 ——断裂;

○ ——数据点。

断裂判定标准: $|\Delta F_{n+1,n}| > 5|\Delta F_{n,n-1}|$ 和/或 $F_{n+1} < 0.02F_m$

图 A.2 试样断裂点的定义原理图

A.4.6.2 如果引伸计一直保持到试样断裂,按图 A.2 记录 1 点的值。

A.4.6.3 如果在最大力(F_m)之后断裂之前摘除了引伸计,那么就允许用横梁位移测定摘除引伸计之后和断裂之间的附加的延伸。该方法应该被证实可行后方可使用的。

A.4.7 弹性范围曲线斜率的测定

为了保证试样未知特性的有效性,使用的方法不应依赖于任何预先定义的应力极限,除非在产品标准中或试验双方的协议中有规定。

最简单的方法就是基于可变化部分的特性进行计算。参数如下:

- 可变化部分的长度(使用的点数);
- 选择按照定义确定曲线斜率的方程。

注:如果力-延伸曲线图的直线部分不能清晰地确定,参见 13.1 和附录 J。

曲线弹性范围的斜率对应于满足下列条件范围的平均斜率:

- 可变化部分的斜率恒定;
- 被选择的范围有代表性。

总之,应当建议用户选取合适的极限范围,避免曲线弹性范围斜率数值不具有代表性值。

其他可接受的方法见文献[4],[5],[6],[7]。

一种测定弹性线斜率评估 $R_{p0.2}$ 的方法如下：

- 线性范围的线性回归；
- 下极限： $\approx 10\%$ 的 $R_{p0.2}$ ；
- 上极限： $\approx 50\%$ 的 $R_{p0.2}$ ；
- 为了获得更准确的 $R_{p0.2}$ 数据，必须检查弹性线，如果必要，用其他极限重新计算。

A.5 试验机软件的有效性

测定不同材料特性试验系统所用方法的有效性，应通过与传统方式模拟图或数字数据测定的结果相比较进行检查确定。直接从试验机传感器或放大器获取的数据，应使用具有一定频带宽度、取样频率和不确定度的设备进行采集和处理，且至少应与提供给试验机计算机计算的结果相等。

如果计算机计算结果与试样上模拟信号的测定结果相差很小，就可以认为计算机的处理具有一定的准确度。为了评估差异的可接受程度，应测试 5 支相似试样，每一相关性能的差异应在表 A.1 所示的范围之内。

注：这一方法仅仅证实，试验机对于特定试样形状、试验材料和所使用的条件找到了材料的性能，但没有给出被试材料的性能是正确或适用的置信度。

如使用其他方法，例如一组已知材料质量水平的预定数据正确处理的方法，这些都应符合表 A.1 的要求。

表 A.1 计算机导出和手工处理的结果的最大允许差

参数	D^a		s^b	
	相对 ^c	绝对 ^c	相对 ^c	绝对 ^c
$R_{p0.2}$	$\leq 0.5\%$	2 MPa	$\leq 0.35\%$	2 MPa
R_{p1}	$\leq 0.5\%$	2 MPa	$\leq 0.35\%$	2 MPa
R_{eH}	$\leq 1\%$	4 MPa	$\leq 0.35\%$	2 MPa
R_{eL}	$\leq 0.5\%$	2 MPa	$\leq 0.35\%$	2 MPa
R_m	$\leq 0.5\%$	2 MPa	$\leq 0.35\%$	2 MPa
A		$\leq 2\%$		$\leq 2\%$
$D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$ $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}$ 式中： D_i —— 试样手工评估结果(H_i)与计算机评估结果(R_i)之差($D_i = H_i - R_i$)； n —— 同一样品上的相同试样数(≥ 5)。 ^c 应当考虑相对值和绝对值的最高值。				

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

注：对于厚度小于 0.5 mm 的产品，有必要采取特殊措施。

B.1 试样的形状

试样的夹持头部一般比其平行长度部分宽(见图 11a)。试样头部与平行长度之间应有过渡半径至少为 20 mm 的过渡弧相连接。头部宽度应 $\geq 1.2 b_0$ ， b_0 为原始宽度。

通过协议，也可以使用不带头试样。对于宽度等于或小于 20 mm 的产品，试样宽度可以相同于产品宽度。

B.2 试样的尺寸

比例试样尺寸见表 B.1。

较广泛使用的三种非比例试样尺寸见表 B.2。

平行长度不应小于 $L_0 + \frac{b_0}{2}$ 。

有争议时，平行长度应为 $L_0 + 2b_0$ ，除非材料尺寸不足够。

对于宽度等于或小于 20 mm 的不带头试样，除非产品标准中另有规定，原始标距 L_0 应等于 50 mm。对于这类试样，两夹头间的自由长度应等于 $L_0 + 3b_0$ 。

当对每支试样测量尺寸时，应满足表 B.3 给出的形状公差。

如果试样的宽度与产品宽度相同，应该按照实际测量的尺寸计算原始横截面积 S_0 。

表 B.1 矩形横截面比例试样

b_0/mm	r/mm	$k=5.65$			$k=11.3$		
		L_0/mm	L_c/mm	试样编号	L_0/mm	L_c/mm	试样编号
10	≥ 20	$5.65\sqrt{S_0}$ ≥ 15	$\geq L_0+b_0/2$ 仲裁试验： L_0+2b_0	P1	$11.3\sqrt{S_0}$ ≥ 15	$\geq L_0+b_0/2$ 仲裁试验： L_0+2b_0	P01
12.5				P2			P02
15				P3			P03
20				P4			P04

注 1：优先采用比例系数 $k=5.65$ 的比例试样。如比例标距小于 15 mm，建议采用表 B. 2 的非比例试样。

注 2：如需要，厚度小于 0.5 mm 的试样在其平行长度上可带小凸耳以便装夹引伸计。上下两凸耳宽度中心线间的距离为原始标距。

表 B.2 矩形横截面非比例试样

b_0/mm	r/mm	L_0/mm	L_c/mm		试样编号
			带头	不带头	
12.5	≥ 20	50	75	87.5	P5
20		80	120	140	P6
25		50*	100*	120*	P7

* 宽度 25 mm 的试样其 L_c/b_0 和 L_0/b_0 与宽度 12.5 mm 和 20 mm 的试样相比非常低。这类试样得到的性能,尤其是断后伸长率(绝对值和分散范围),与其他两种类型试样不同。

表 B.3 试样宽度公差

单位为毫米

试样的名义宽度	尺寸公差 ^a	形状公差 ^b
12.5	± 0.05	0.06
20	± 0.10	0.12
25	± 0.10	0.12
^a 如果试样的宽度公差满足表 B.3,原始横截面积可以用名义值,而不必通过实际测量再计算。		
^b 试样整个平行长度 L_c 范围,宽度测量值的最大最小之差。		

B.3 试样的制备

制备试样应不影响其力学性能,应通过机加工方法去除由于剪切或冲切而产生的加工硬化部分材料。

这些试样优先从板材或带材上制备。如果可能,应保留原轧制面。

注:通过冲切制备的试样,在材料性能方面会产生明显变化。尤其是屈服强度或规定延伸强度,会由于加工硬化而发生明显变化。对于呈现明显加工硬化的材料,通常通过铣和磨削等手段加工。

对于十分薄的材料,建议将其切割成等宽度薄片并叠成一叠,薄片之间用油纸隔开,每叠两侧夹以较厚薄片,然后将整叠机加工至试样尺寸。

机加工试样的尺寸公差和形状公差应符合表 B.3 的要求。例如对于名义宽度 12.5 mm 的试样,尺寸公差为 ± 0.05 mm,表示试样的宽度不应超过下面两个值之间的尺寸范围:

$12.5\text{ mm} + 0.05\text{ mm} = 12.55\text{ mm}$

$12.5\text{ mm} - 0.05\text{ mm} = 12.45\text{ mm}$

B.4 原始横截面积的测定

原始横截面积应根据试样的尺寸测量值计算得到。

原始横截面积的测定应准确到 $\pm 2\%$ 。当误差的主要部分是由于试样厚度的测量所引起的,宽度的测量误差不应超过 $\pm 0.2\%$ 。

为了减小试验结果的测量不确定度,建议原始横截面积应准确至或优于 $\pm 1\%$ 。对于薄片材料,需要采用特殊的测量技术。

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

C.1 试样的形状

试样通常为产品的一部分,不经机加工(见图 12)。

C.2 试样的尺寸

原始标距 L_0 应取 $200\text{ mm} \pm 2\text{ mm}$ 或 $100\text{ mm} \pm 1\text{ mm}$ 。试验机两夹头之间的试样长度应至少等于 $L_0 + 3b_0$, 或 $L_0 + 3d_0$, 最小值为 $L_0 + 20\text{ mm}$ 。见表 C.1。

表 C.1 非比例试样

d_0 或 a_0/mm	L_0/mm	L_c/mm	试样编号
≤ 4	100	≥ 120	R9
	200	≥ 220	R10

如果不测定断后伸长率,两夹头间的最小自由长度可以为 50 mm。

C.3 试样的制备

如以盘卷交货的产品,可进行矫直。

C.4 原始横截面积的测定

原始横截面积的测定应准确到 $\pm 1\%$ 。

对于圆形横截面的产品,应在两个相互垂直方向测量试样的直径,取其算术平均值计算横截面积。

可以根据测量的试样长度、试样质量和材料密度,按照公式(C.1)确定其原始横截面积:

$$S_0 = \frac{1\,000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \quad \dots\dots\dots (\text{C.1})$$

式中:

m ——试样质量,单位为克(g);

L_t ——试样的总长度,单位为毫米(mm);

ρ ——试样材料密度,单位为克每立方厘米($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

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

D.1 试样的形状

通常,试样进行机加工。平行长度和夹持头部之间应以过渡弧连接,试样头部形状应适合于试验机夹头的夹持(见图 13)。夹持端和平行长度之间的过渡弧的最小半径应为:

- a) 圆形横截面试样 $\geq 0.75d_0$;
- b) 其他试样 ≥ 12 mm。

如相关产品标准有规定,型材、棒材等可以采用不经机加工的试样进行试验。

试样原始横截面积可以为圆形、方形、矩形或特殊情况时为其他形状。矩形横截面试样,推荐其宽厚比不超过 8:1。

一般机加工的圆形横截面试样其平行长度的直径一般不应小于 3 mm。

D.2 试样的尺寸

D.2.1 机加工试样的平行长度

平行长度 L_0 应至少等于:

- a) $L_0 + \frac{d_0}{2}$ 对于圆形横截面试样;
- b) $L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ 对于其他形状试样。

对于仲裁试验,平行长度应为 $L_0 + 2d_0$ 或 $L_0 + 2\sqrt{S_0}$,除非材料尺寸不足够。

D.2.2 不经机加工试样的平行长度

试验机两夹头间的自由长度应足够,以使试样原始标距的标记与最接近夹头间的距离不小于 $\sqrt{S_0}$ 。

D.2.3 原始标距

D.2.3.1 比例试样

通常,使用比例试样时原始标距 L_0 与原始横截面积 S_0 有以下关系:

$$L_0 = k\sqrt{S_0}$$

其中比例系数 k 通常取值 5.65,也可以取 11.3。

圆形横截面比例试样和矩形横截面比例试样应优先采用表 D.1 和表 D.2 推荐的尺寸。

表 D.1 圆形横截面比例试样

d_o/mm	r/mm	$k=5.65$			$k=11.3$		
		L_o/mm	L_c/mm	试样编号	L_o/mm	L_c/mm	试样类型编号
25	$\geq 0.75d_o$	$5d_o$	$\geq L_o + d_o/2$ 仲裁试验: $L_o + 2d$	R1	$10d_o$	$\geq L_o + d_o/2$ 仲裁试验: $L_o + 2d_o$	R01
20				R2			R02
15				R3			R03
10				R4			R04
8				R5			R05
6				R6			R06
5				R7			R07
3				R8			R08
注 1: 如相关产品标准无具体规定, 优先采用 R2、R4 或 R7 试样。							
注 2: 试样总长度取决于夹持方法, 原则上 $L_1 > L_c + 4d_o$ 。							

表 D.2 矩形横截面比例试样

b_0/mm	r/mm	$k=5.65$			$k=11.3$		
		L_0/mm	L_c/mm	试样编号	L_0/mm	L_c/mm	试样类型编号
12.5	≥ 12	$5.65\sqrt{S_0}$	$\geq L_0+1.5\sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0+2\sqrt{S_0}$	P7	$11.3\sqrt{S_0}$	$\geq L_0+1.5\sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0+2\sqrt{S_0}$	P07
15				P8			P08
20				P9			P09
25				P10			P010
30				P11			P011
注: 如相关产品标准无具体规定, 优先采用比例系数 $k=5.65$ 的比例试样。							

D.2.3.2 非比例试样

矩形横截面非比例试样尺寸见表 D.3。如果相关的产品标准有规定, 允许使用非比例试样。
平行长度不应小于 $L_0 + b_0/2$ 。对于仲裁试验, 平行长度应为 $L_c = L_0 + 2b_0$, 除非材料尺寸不足够。

表 D.3 矩形横截面非比例试样

b_0/mm	r/mm	L_0/mm	L_c/mm	试样类型编号
12.5	≥ 20	50	$\geq L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ 仲裁试验: $L_0 + 2\sqrt{S_0}$	P12
20		80		P13
25		50		P14
38		50		P15
40		200		P16

D.3 试样的制备

D.3.1 表 D.4 给出了机加工试样的横向尺寸公差。

D.3.2 和 D.3.3 给出了应用这些公差的例子：

D.3.2 尺寸公差

表 D.4 给出的值，例如对于名义直径 10 mm 的试样，尺寸公差为 ± 0.03 mm，表示试样的直径不应超出下面两个值之间的尺寸范围。

$10\text{ mm} + 0.03\text{ mm} = 10.03\text{ mm}$ $10\text{ mm} - 0.03\text{ mm} = 9.97\text{ mm}$

D.3.3 形状公差

表 D.4 中规定的值表示，例如对于满足上述机加工条件的名义直径 10 mm 的试样，沿其平行长度最大直径与最小直径之差不应超过 0.04 mm。

因此，如试样的最小直径为 9.99 mm，它的最大直径不应超过： $9.99\text{ mm} + 0.04\text{ mm} = 10.03\text{ mm}$ 。

表 D.4 试样横向尺寸公差 单位为毫米

名 称	名义横向尺寸	尺寸公差 ^a	形状公差 ^b
机加工的圆形横截面直径和四面机加工的矩形横截面试样横向尺寸	≥ 3	± 0.02	0.03
	≤ 6		
	> 6	± 0.03	0.04
	≤ 10		
	> 10	± 0.05	0.04
	≤ 18		
相对两面机加工的矩形横截面试样横向尺寸	> 18	± 0.10	0.05
	≤ 30		
	≥ 3	± 0.02	0.03
	≤ 6		
	> 6	± 0.03	0.04
	≤ 10		
	> 10	± 0.05	0.06
	≤ 18		
	> 18	± 0.10	0.12
	≤ 30		
	> 30	± 0.15	0.15
	≤ 50		
^a 如果试样的公差满足表 D. 4, 原始横截面积可以用名义值, 而不必通过实际测量再计算。如果试样的公差不满足表 D. 4, 就很有必要对每个试样的尺寸进行实际测量。			
^b 沿着试样整个平行长度, 规定横向尺寸测量值的最大最小之差。			

D.4 原始横截面积的测定

对于圆形横截面和四面机加工的矩形横截面试样，如果试样的尺寸公差和形状公差均满足表 D.4 的要求，可以用名义尺寸计算原始横截面积。对于所有其他类型的试样，应根据测量的原始试样尺寸计算原始横截面积 S_0 ，测量每个尺寸应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

附录 E
(规范性附录)
管材使用的试样类型

E.1 试样的形状

试样可以为全壁厚纵向弧形试样,管段试样,全壁厚横向试样,或从管壁厚度机加工的圆形横截面试样(见图 14 和图 15)。

对于管壁厚度小于 3 mm 的机加工横向,纵向和圆形横截面试样已在附录 B 描述了,对于管壁厚度大于 3 mm 的机加工横向,纵向和圆形横截面试样已在附录 D 描述了。

E.2 试样的尺寸

E.2.1 纵向弧形试样

纵向弧形试样尺寸见表 E.1。相关产品标准可以规定不同于表 E.1 的试样。纵向弧形试样一般适用于管壁厚度大于 0.5 mm 的管材。

为了在试验机上夹持,可以压平纵向弧形试样的两头部,但不应将平行长度部分压平。

不带头的试样,两夹头间的自由长度应足够,以使试样原始标距的标记与最接近的夹头间的距离不少于 $1.5\sqrt{S_0}$ 。

表 E.1 纵向弧形试样

D ₀ /mm	b ₀ /mm	a ₀ /mm	r/mm	k=5.65			k=11.3		
				L ₀ /mm	L _c /mm	试样编号	L ₀ /mm	L _c /mm	试样类型编号
30~50	10	原壁厚	≥12	5.65√S ₀	≥L ₀ +1.5√S ₀ 仲裁试验: L ₀ +2√S ₀	S1	11.3√S ₀	≥L ₀ +1.5√S ₀ 仲裁试验: L ₀ +2√S ₀	S01
>50~70	15					S2			S02
>70~100	20/19					S3/S4			S03
>100~200	25					S5			
>200	38					S6			
注:如相关产品标准无具体规定,优先采用比例系数 k=5.65 的比例试样。									

E.2.2 管段试样

管段试样尺寸见表 E.2。应在试样两端加以塞头。塞头至最接近的标距标记的距离不应小于 $D_0/4$,只要材料足够,仲裁试验时此距离为 D_0 。塞头相对于试验机夹头在标距方向伸出的长度不应超过 D_0 ,而其形状应不妨碍标距内的变形。

允许压扁管段试样两夹持头部,加或不加扁块塞头后进行试验。仲裁试验不压扁,应加配塞头。

表 E.2 管段试样

L_0/mm	L_c/mm	试样类型编号
$5.65\sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + D_0/2$ 仲裁试验: $L_0 + 2D_0$	S7
50	≥ 100	S8

E.2.3 机加工的横向试样

机加工的横向矩形横截面试样,管壁厚度小于 3 mm 时,采用表 B.1 或表 B.2 的试样;管壁厚度大于或等于 3 mm 时,采用表 D.2 或表 D.3 的试样。

不带头的试样,两夹头间的自由长度应足够,以使试样原始标距的标记与最接近的夹头间的距离不少于 $1.5b_0$ 。

应采用特别措施校直横向试样。

E.2.4 管壁厚度加工的纵向圆形横截面试样

机加工的纵向圆形横截面试样应采用表 D.1 的试样。相关产品标准应根据管壁厚度规定圆形横截面尺寸,如无具体规定,按表 E.3 选定。

表 E.3 管壁厚度机加工的纵向圆形横截面试样

a_0/mm	采用试样
8~13	R7
>13~16	R5
>16	R4

E.3 原始横截面积的测定

试样原始横截面积的测定应准确到 $\pm 1\%$ 。

管段试样、不带头的纵向或横向试样的原始横截面积可以根据测量的试样长度、试样质量和材料密度,按照式(E.1)计算:

$$S_0 = \frac{1\,000 \cdot m}{\rho \cdot L_t} \dots\dots\dots (\text{E.1})$$

式中:

- m ——试样的质量,单位为克(g);
- L_t ——试样的总长度,单位为毫米(mm);
- ρ ——试样的材料密度,单位为克每立方厘米($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)。

对于圆管纵向弧形试样,按照式(E.2)计算原始横截面积:

$$S_0 = \frac{b_0}{4}(D_0^2 - b_0^2)^{1/2} + \frac{D_0^2}{4}\arcsin\left(\frac{b_0}{D_0}\right) - \frac{b_0}{4}[(D_0 - 2a_0)^2 - b_0^2]^{1/2} - \left(\frac{D_0 - 2a_0}{2}\right)^2 \arcsin\left(\frac{b_0}{D_0 - 2a_0}\right) \dots\dots\dots (\text{E.2})$$

式中:

a_o ——管的壁厚;

b_o ——纵向弧形试样的平均宽度, $b_o < (D_o - 2a_o)$;

D_o ——管的外径。

式(E. 3)和式(E. 4)为简化的公式,适用于纵向弧形试样:

当 $\frac{b_o}{D_o} < 0.25$ 时

$$S_o = a_o b_o \left[1 + \frac{b_o^2}{6D_o(D_o - 2a_o)} \right] \dots\dots\dots (E. 3)$$

当 $\frac{b_o}{D_o} < 0.1$ 时

$$S_o = a_o b_o \dots\dots\dots (E. 4)$$

对于管段试样,按照式(E. 5)计算原始横截面积:

$$S_o = \pi a_o (D_o - a_o) \dots\dots\dots (E. 5)$$

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

10.3.1 中的式(1)没有考虑试验装置(机架、力传感器、夹具等)的弹性变形。这意味着应将变形分为试验装置的弹性变形和试样的弹性变形。横梁位移速率只有一部分转移到了试样上。试样上产生的应变速率 $\dot{\epsilon}_m$ 由式(F.1)给定:

$$\dot{\epsilon}_m = \nu_c / \left(\frac{m \times S_0}{C_M} + L_c \right) \dots\dots\dots (F.1)$$

式中:

- C_M —— 试验装置的刚度, $\text{mm} \cdot \text{N}^{-1}$ (在试验装置的刚度不是线性的情况下,比如楔形夹头,应取相关参数点例如 $R_{p0.2}$ 附近的刚度值);
- $\dot{\epsilon}_m$ —— 试样上产生的应变速率,单位为每秒(s^{-1});
- L_c —— 试样的平行长度,单位为毫米(mm);
- m —— 给定时刻应力-延伸曲线的斜率(例如 $R_{p0.2}$ 附近点),单位为兆帕(MPa);
- S_0 —— 原始横截面积,单位为平方毫米(mm^2);
- ν_c —— 横梁位移速率,单位为毫米每秒($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$).

注: 从应力-应变曲线弹性部分得到的 m 和 C_M 不能用。

10.3.1 中的式(1)不能补偿柔度效应。试样上产生应变速率 $\dot{\epsilon}_m$ 所需近似横梁位移速率可以根据式(F.2)计算得到,单位为毫米每秒($\text{mm} \cdot \text{s}^{-1}$):

$$\nu_c = \dot{\epsilon}_m \left(\frac{m \times S_0}{C_M} + L_c \right) \dots\dots\dots (F.2)$$