



英国国家标准

BS EN ISO 6892-1: 2016

金属材料 – 拉伸试验

第 1 部分：室温测试方法

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

参考号 BS EN ISO 6892-1: 2016 (E)

英文版本

金属材料—拉伸试验第 1 部分：室温测试方法

(ISO 6892-1: 2016)

本欧洲标准由 CEN 于 2016 年 4 月 15 日批准。

CEN 成员有义务遵照 CEN/CENELEC 的内部规定，即以此欧洲标准作为国家标准，且不做任何更改。可向 CEN/CENELEC 管理中心或任何 CEN 成员国索取关于此类国家标准的更新清单和参考文献。

本欧洲标准现有三种正式版本（英文、法文、德文）。其他语言的文本可由 CEN 成员国翻译成本国语言并告知 CEN/CENELEC 管理中心其具有官方版本的相同地位。

CEN 会员包括以下国家的国家标准化组织：奥地利，比利时，保加利亚，克罗地亚，塞浦路斯，捷克共和国，丹麦，爱沙尼亚，芬兰，前马其顿共和国，法国，德国，希腊，匈牙利，冰岛，爱尔兰，意大利，拉脱维亚，立陶宛，卢森堡，马耳他，荷兰，挪威，波兰，葡萄牙，罗马尼亚，斯洛伐克，斯洛文尼亚，西班牙，瑞典，瑞士，土耳其和英国。

CEN

欧洲标准化委员会

管理中心：Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels

前言

本欧洲标准(EN ISO 6892-1:2016)由ISO/TC 164“金属机械测试”和ECISS/TC 101“钢—试验方法(不含化学分析)”技术委员会制订,其秘书处设在AFNOR。

要么通过出版一致的文本,要么在2017年1月前认可,本欧洲标准必须获得一个国家标准的法律低位,并且在2017年1月前废止有冲突的本国国家标准。

本标准中的某些内容有可能涉及一些专利权问题,这一点应引起注意,CEN/CENELEC不负责识别任何这样的专利权问题。

本文件替代EN ISO 6892-1:2009。

根据CEN/CENELEC管理条例,以下国家的国家标准化研究所有义务采纳本欧洲标准:比利时、丹麦、德国、爱沙尼亚、芬兰、法国、希腊、爱尔兰、冰岛、意大利、拉脱维亚、立陶宛、卢森堡、马耳他、荷兰、挪威、奥地利、波兰、葡萄牙、瑞典、瑞士、斯洛伐克、斯洛文尼亚、西班牙、捷克共和国、匈牙利、英国和塞浦路斯。

签注认可通知

经CEN批准,国际标准EN ISO 6892-1:2016全文不加修改的称为一项欧洲标准。

目 录

前 言	1
引 言	1
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 符号	6
5 原理	7
6 试样	7
7 原始横截面积的测定	8
9 试验设备的准确度	9
10 试验要求	9
11 上屈服强度的测定	12
12 下屈服强度的测定	13
13 规定塑性延伸强度的测定	13
14 规定总延伸强度的测定	13
15 规定残余延伸强度的验证和测定	13
16 屈服点延伸率的测定	14
17 最大力塑性延伸率的测定	14
18 最大力总延伸率的测定	14
19 断裂总延伸率的测定	14
20 断后伸长率的测定	15
21 断面收缩率的测定	15
22 试验报告	16
23 测量不确定度	16
附录 A (资料性附录) 计算机控制拉伸试验机使用的建议	28
附录 B (规范性附录) 厚度 0.1mm~<3mm 薄板和薄带使用的试样类型	33
附录 C (规范性附录) 直径或厚度小于 4mm 线材、棒材和型材使用的试样类型	35
附录 D (规范性附录) 厚度等于或大于 3mm 板材和扁材以及直径或厚度等于或大于 4mm 线材、棒材和型材使用的试样类型	36
附录 E (规范性附录) 管材使用的试样类型	39
附录 F (资料性附录) 考虑试验机柔度估计的横梁位移速率	41
附录 G (资料性附录) 为用单轴拉伸试验对确定金属材料弹性模量的测定	43
附录 H (资料性附录) 断后伸长率低于 5%的测定方法	52
附录 I (资料性附录) 移位法测定断后伸长率	53
附录 J (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_{wn} 的测定方法	54
附录 K (资料性附录) 测量不确定度的评定	55
附录 L (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	59
参考文献	64

前言

国际标准化组织(ISO)是各国的国家标准机构(ISO 成员单位)的世界性联盟。ISO 国际标准的编制通常是通过 ISO 技术委员会组织完成的。凡是对某技术委员会已经确定的项目感兴趣的每个成员单位都有权派代表参加该委员会的工作。凡是与国际标准化组织(ISO)有联系的国际组织,不管是政府的还是非政府的,也可参加 ISO 国际标准的编制工作。在电工技术标准化的各个方面,国际标准化组织(ISO)与国际电工委员会(IEC)是紧密协作的。

ISO/IEC 指令,第 1 部分描述了本文件起草所用的程序以及其未来维护所用的程序。特别地,应注意不同的 ISO 文件类型需要不同的批准准则。本文件按照 ISO/IEC 指令,第 2 部分的编辑规则进行起草。(见 www.iso.org/directives)

时刻注意本文件某些内容可能涉及到专利权。ISO 应不为识别任何或所有专利权承担责任。在本文件起草期间识别的任何专利权细节将出现在前言和/或收到的 ISO 专利权声明清单中。(见 www.iso.org/patents)

本文件所用的任何商标作为参考信息给出,以用于方便用户,同时不构成一种担保。

一致性评估相关的 ISO 特定术语和表述的意义解释以及 ISO 遵循的贸易技术壁垒(TBT)的 WTO 原则相关信息访问以下 URL: Foreword - Supplementary information。

本文件的责任委员会为 ISO/TC 164《金属材料的机械试验》分技术委员会 SC1 为《单轴向试验》。

第 2 版经过技术性修订(以进行以下更改)而取消和替代第 1 版(ISO 6892-1:2009):

- 1) 第 10 条重新编号;
- 2) 增加关于使用方法 A 和 B 的信息;
- 3) 新命名:
 - 1) 方法 A 闭环 → A1
 - 2) 方法 A 开环 → A2;
- 4) 增加 A.5;
- 5) 附录 F 中增加测定试验设备刚度的内容;
- 6) 新规范性附录 G: 用单轴拉伸试验测定金属材料的弹性模量;
- 7) 原附录 G 被重命名为附录 H, 原附录 H 被重命名为附录 I, 以此类推。

ISO 6892 由以下部分组成,总标题是金属材料-拉伸试验:

- 第一部分: 室温测试方法

以下部分正在制定:

- 第二部分: 高温测试方法
- 第三部分: 低温测试方法

下面这个部分已经制定：

- 第四部分：液氮测试方法

引言

在制定 ISO 6892 讨论关于测试速度过程中,决定在未来版本中推荐使用应变速率控制。

ISO 6892 的本部分中有两种测试速率方法可用。第一,方法 A,依照应变速率(包括十字头分离率),第二,方法 B,依照应力速率。方法 A 是为了尽量减少在目前的速率变化时,测试应变速率的敏感参数,以最大限度地减少测试结果的测量不确定度。

金属材料—拉伸试验 第 1 部分：室温测试方法

1 范围

ISO 6892 的本部分中规定了金属材料拉伸试验方法，定义了金属材料室温力学性能的测定。

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（包括所有勘误的内容）。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

ISO 7500-1 金属材料—静态单轴向试验机的验证—第 1 部分：拉伸/压缩试验机—力测量系统的验证和校正

ISO 9513 金属材料—单轴向试验用引伸计的校准

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

注意以下内容，名称“力”与“应力”或“延伸”，“延伸率”和“应变”，分别应用于不同场合（如图轴标签或解释不同性质的测定）。然而，如果是一般描述或曲线上的一点，名称“力”与“应力”或“延伸”，“延伸率”和“应变”可以互换使用。

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。

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：平行长度的概念被未加工试样夹持部分之间的距离取代。

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

原始标距的伸长与原始标距 L_0 之比的百分率。

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。

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) (3.1.1) 之比的百分率。

注 1: 更多信息见 8.1 节。

3.5 引伸计标距长度 Extensometer gauge length

L_e

用引伸计测量试样延伸时所使用试样引伸计起始标距长度。

注 1: 更多信息见 8.3 节。

3.6 延伸 Extension

试验期间任一给定时刻引伸计标距 (3.5) L_e 的增量。

3.6.1 延伸率 Percentage extension“strain”

用引伸计标距 L_e (3.5) 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_e (3.5) 之比的百分率。

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与引伸计标距 L_e 之比的百分率。

注 1: 见图 7。

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

A_{gt}

最大力时原始标距的总延伸（弹性延伸加塑性延伸）与引伸计标距 (3.5) L_e 之比的百分率。

注 1: 见图 1。

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

A_g

最大力时原始标距的塑性延伸与引伸计标距 L_e 之比的百分率。

注 1: 见图 1。

3.6.6 断裂总延伸率 Percentage total extension at fracture

A_f 断裂时刻原始标距的总延伸（弹性延伸加塑性延伸）与引伸计标距 (3.5) L_e 之比的百分率。

注 1: 见图 1。

3.7 试验速率 Testing rate

3.7.1 应变速率 Strain rate

$\dot{\epsilon}_{L_e}$

用引伸计标距 L_e (3.5) 测量时单位时间的应变增加值。

注: 见 3.5

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

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

根据横梁分离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

\dot{R}

单位时间应力的增加。

注 1: 应力速度只用于方法 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 ($S_o - S_u$) 与原始横截面积 S_o 之比的百分率:

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

3.9 最大力 Maximum force

注: 对于显示不连续屈服的金属材料, 如果没有加工硬化作用, 在本标准就不定义 F_m 。[见图 8c 的尾注]。

3.9.1 最大力 Maximum force

F_m

对于无明显屈服 (不连续屈服) 的金属材料, 为试验期间的最大力。

3.9.2 最大力 Maximum force

F_m

对于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 2: 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_o 之商。

注: ISO 6892 的本部分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 , 见 3.9.2) 的应力。

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。

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)。

注 1: 见图 2。

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)。

注 1: 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 (3.5) 百分率时对应的应力。

注 1: 参照 ISO/TR 25679:2005, “规定塑性延伸强度”

注 2: 使用的符号应附下脚标说明所规定的塑性延伸率, 例如, $R_{p0.2}$

注 3: 见图 3。

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 (3.5) 百分率时的应力。

注 1: 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。

注 2: 见图 4。

3.10.5 规定残余延伸强度 Permanent set strength

R_r

卸除应力后残余延伸率等于规定的原始标距 L_0 (3.1.1) 或引伸计标距 L_e (3.5) 百分率时对应的应力。

注 1: 使用的符号应附下脚标说明所规定的残余延伸率。例如 $R_{r0.2}$, 表示规定残余延伸率为 0.2% 时的应力。

注 2: 见图 5。

3.11 断裂 fracture

当试样发生完全分离时的现象。

注 1: 在图 A.2 给出了计算机控制试验机用断裂的判据。

3.12

计算机控制拉伸试验机

指通过计算机进行测试、测量和数据处理的控制和监控的机器

3.13

弹性模量

E

在评估范围内的应力变化 ΔR 除以延伸率变化 ΔE , 乘以 100 %

$$E = \frac{\Delta R}{\Delta e} \cdot 100 \%$$

注 1: 建议将 GPa 值取整为最接近的 0,1 GPa 并按照 ISO 80000-1 规定报告。

3.14

默认值

用以描述弹性模量计算范围的应力应变上、下值

3.15

相关系数

R^2

用以介绍评估范围内的应力-应变曲线质量的线性回归附加结果

注 1: 所选用符号 R^2 是回归的数学表示法, 并不是平方应力值的表达式。

3.16

边坡标准偏差

S_m

用以描述评估范围内给定扩展值的最佳拟合线的应力值的差异的线性回归附加结果

3.17

边坡相对标准偏差

$S_{m(rel)}$

在评估范围内的斜率除以斜率的标准偏差, 乘以 100%

$$S_{\text{m(rel)}} = \frac{S_{\text{m}}}{E} \cdot 100 \text{ \%}$$

4 符号

ISO 6892 的本部分中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_o, T^a	mm	矩形横截面试样原始厚度或原始管壁厚度
b_o	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_o	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_o	mm	管原始外直径
L_o	mm	原始标距
L'_O	mm	测定 A_{wn} 的原始标距（见附录 I）
L_c	mm	平行长度
L_e	mm	引伸计标距
L_t	mm	试样总长度
L_u	mm	断后标距
L'_u	mm	测量 A_{wn} 的断后标距（见附录 I）
S_o	mm ²	原始横截面积
S_u	mm ²	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		
A	%	断后伸长率（见 3.4.2）
A_{wn}	%	无缩颈塑性伸长率（见附录 I）
延伸		
e	%	延伸率
A_e	%	屈服点延伸率
A_g	%	最大力 F_m 塑性延伸率
A_{gt}	%	最大力 F_m 总延伸率
A_t	%	断裂总延伸率
ΔL_m	mm	最大力总延伸
ΔL_f	mm	断裂总延伸
速率		
\dot{e}_{L_e}	s ⁻¹	应变速率
\dot{e}_{L_c}	s ⁻¹	平行长度估计的应变速率
\dot{R}	MPa s ⁻¹	应力速率
v_c	mm s ⁻¹	横梁分离速率
力		
F_m	N	最大力
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_E	MPa	应力-延伸率曲线弹性部分的斜率。
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>a 用于钢管产品标准的符号</p> <p>b $1\text{MPa} = 1\text{ N/mm}^{-2}$</p> <p>c 附录G中描述了弹性模量计算。不需要使用附录G确定应力-延伸率曲线弹性部分的斜率以确定延伸强度。</p> <p>d 对于应力-拉伸曲线的弹性部分，斜率值不一定代表弹性模量。如果使用了最佳条件（见附录G），此值与弹性模量值有密切关系。</p> <p>注意-系数100是有必要的如果使用比例值</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 $10^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 范围内进行。对于规定要求以外的实验室环境，测试实验室有责任对测试影响和或在该环境中运行的测试机所产生的校准数据进行评估。当在所建议的 $10^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ 范围外进行试验和校准活动时，应记录并报告温度。如果在测试或校准过程中出现明显温度梯度，测量不确定性可能会有所增加，可能会发生超差情况。

对温度要求严格的试验，试验温度应为 $23^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。

如果在拉伸试验中要求测定弹性模量，应按照附录 G 执行。

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。

试样原始标距与横截面积有 $L_0 = k\sqrt{S_0}$ 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 15mm。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 20mm 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相应的附录 B～附录 E（见 6.2）。

其他试样应符合相关产品标准或国家标准的规定，满足消费者的使用协议。比如：ISO 3183[1], (API 5L), ISO 11960[2], (API 5CT), ASTM A370[6], ASTM E8M[7], DIN 50125[10], IACS W2[13], 和 JIS Z 2241[14].

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_c 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）。


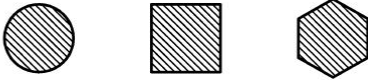
铸造试样应在其夹持端和平行长度之间以过渡弧连接。此弧的过渡半径的尺寸可能很重要，建议在相关产品标准中规定。试样夹持端的形状应适合于试验机的夹头。平行长度 L_c 应大于原始标距 L_0 。

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	
$0.1 \leq \text{厚度} < 3$	—	B
—	< 4	C
$a > 3$	≥ 4	D
管材		E

6.3 试样的制备

应按照相关产品国际标准（如 ISO 377）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。

推荐至少三个横截面积。

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 原始规范长度和引伸计标距长度

8.1 选择原始规范长度

对于比例测试件，如果其原始规范长度不等于 $5,65\sqrt{S_0}$ ，其中， S_0 是平行长度的原横截面积，符号 A 应补充一下标，表示使用的比例系数，例如，根据公式（1），A11,3 表示标距长度的伸长率 L_0 。

$$A_{11,3} = 11,3\sqrt{S_0} \quad (1)$$

注: $5,65\sqrt{S_0} = 5\sqrt{4S_0/\pi}$.

对于非比例测试件（见附录 B），符号 A 应补充一下标，表示使用的原始规范长度，以毫米为单位，例如，A80 mm 表示 80 mm 标距长度的伸长率 L_0 。

8.2 原始标距的标记

应用小标记、细划线或细墨线标记原始标记 L_0 ，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修约至最接近 5mm 的倍数。原始标距的标记应准确到 $\pm 1\%$ 。

如平行长度 L_c 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。

8.3 选择引伸计标距长度

对于屈服强度和强度参数的测量， L_e 应尽可能与试件平行长度一样长。理想情况下，作为最小长度， L_e 应大于 0,50 L_0 但小于约 0,9 L_c 。这应确保引伸计能够检测出试件中的所有屈服事件。此外，对于参数“达到”或“达到后”最大受力的测量， L_e 应约等于 L_0 。

9 试验设备的准确度

试验机的测力系统应按照 ISO 7500-1 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 ISO 9513 的要求。并且其准确度应为 1 级或优于 1 级。对于其它性能（更高伸长率）在 ISO 9513，应使用不劣于 2 级准确度的引伸计。

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：上述方法为了确保夹持系统施加的力在测力时得到补偿。另一方面，由于夹持而产生的任何应力不影响测量。

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。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 测试率

10.3.1 有关测试率的基本信息

除非另有约定，方法（A1、A2、B）和测试率的选择由生产商或由生产商指定的测试实验室决定，但条件是其必须符合 ISO 6892 部分的要求。

注 1: 方法 A 和方法 B 的区别在于方法 A 的必要检测速度在兴趣点定义 (例如 $f_{tp0,2}$), 必须确定属性; 方法 B 的必要检测速度在属性确定前 (例如 $f_{tp0,2}$) 就已经在弹性范围内设置。

注 2: 在方法 B 的使用条件下 (例如, 按照表 B.1 附录 B 规定使用试验台、高刚度夹持系统和试件几何以及试件 2 型在约 30 兆帕弹性范围内对钢件应力率进行测定), 可观察到方法 A 范围 2 附近应变速率。

注 3: 产品标准和相应的测试标准 (例如: 航空航天标准) 可以指定不同于包含在 ISO 6892 中的测试率。

10.3.2 基于应变速率的试验率 (方法 A)

10.3.2.1 一般原则

方法 A 的目的是在确定应变率敏感参数的同时, 尽量减少测试率的变化, 并尽量减少测试结果的测量不确定度。

本小节将描述了两种不同类型的应变速率控制。

— 方法 A1 闭环包括基于反馈的应变率本身控制 e , ,

L_e

来自于引伸计。

— 方法 A2 开环包括平行长度上的估计应变率的控制, e , ,

c

采用十字头分离率实现, 十字头分离率由平行长度乘以所需应变速率计算得出[见公式 (2)]。

注: 附录 F 描述了一个针对方法 A2 的更严谨的应变率估计程序。

如果材料没有显示间断屈服, 并且表面上看力保持恒定, 应变率, e_l , 和平行长度估计应变率, e , 是大致相等的。

如果材料表现出间断屈服或锯齿形屈服, 差异依然存在 (例如钢和铝-镁合金的屈服点延伸范围, 或一些材料显示出锯齿形屈服, 像 Portevin-Le Chatelier 效应) 或者如果出现缩颈。如果力量增加, 由于试验机的合规性, 应变率[如果按照公式 (2) 计算十字头分离率] 可能会低于目标应变率。

测试合格率应符合以下要求。

1) 除非另有规定, 所使用的任何便利测试速度最大达到相当于预期屈服强度的一半应力。超出此范围, 对 R_{eH} , R_p 或 R_t 进行测定, 应采用指定应变速率, e , (或方法 A2 十字头分离率 v_c)。

e

在这个范围内, 为了消除拉伸试验机的合规性的影响, 应将引伸计夹在试件上以精确控制应变率。如果无法采取应变率控制试验机, 可采用方法 A2 控制。

2) 在间断屈服期间, 应采用平行长度估计应变速率, e , (见 3.7.2), 在这个范围内, 不可能通过将引伸计夹在试件上控制应变率, 因为引伸计标距长度之外会发生局部屈服。采用恒定的十字头的分离率, 可以充分准确地确保所需的平行长度估计应变速率出现在该范围内, v_c (见 3.7.3) (开环); $v_c = L_c e L_c$ (2) 其中 e 表示平行长度估计应变速率, $e L_c$ 中 L_c 表示平行长度。

3) 在 R_p 或 R_t 或最终屈服之后范围内 (见 3.7.2), 可使用 e, e 。建议采用 $e, L_e \quad c \quad L_c$ 避免出现引伸计长度外缩颈所产生的控制问题。

应在相关材料性能测定过程中, 应对 10.3.2.4 到 10.3.2.2 中指定应变率加以维护 (参见图 9)。在切换到另一个应变率或另一个控制模式期间, 不应在应力-应变曲线中引入不连续性, 以避免扭曲 R_m , σ_g , or σ_{gt} 值 (见图 10)。可以通过进行合适的渐进式速率交换减少这种影响。工作硬化范围内的应力-应变曲线的形状也受应变速率的影响。记录使用的检测率 (见 10.3.4)。

10.3.2.2 确定上屈服强度, R_{eH} ,或证明强度性能, R_p 和 R_t 应变率

应尽可能保持应变率不变, 达到并包括确定 R_{eH}

e

在对这些材料性能进行测定时, 应变速率应在下列两个特定范围内 (见图 9)。

范围 1: $e = 0,000\ 07\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ 。

Le

范围 2: $e = 0000\ 25\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ (推荐值, 除非另有规定, Le 已指定)

Le

如果试验机不能直接控制应变率, 应使用方法 A2。

10.3.2.3 确定较低屈服强度 R_{eL} 和屈服点延伸率 A_e 的应变率

在对上屈服强度进行检测后 (见 A.3.2), 平行长度上 e , 的估计应变速率应保持在以下两个指定范围内 (见图 9) 直到间断屈服结束为止。

范围 2: $e, = 0000\ 25\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ (推荐值, 当 R_{eL} 确定时)。

c

范围 3: $e, = 0,00\ 2\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ 。

c

确定拉伸强度 R_M 、断后伸长率 A 、最大总延伸率 A_{gt} 、最大塑性延伸率 A_g 、断面收缩率 Z 的应变率;

在确定所需屈服强度/强度性能后, 平行长度上的估计应变率应被更改为下列规定范围之一 (见图 9)。

范围 2: $e\ L = 0,000\ 25\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ 。

范围 3: $e\ L = 0,00\ 2\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ 。

范围 4: $e = 0006\ 7\ s^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$ ($0,4\ min^{-1}$, 相对公差 $\pm 20\%$) (推荐值, 除非另有规定)。

如果拉伸试验的目的只是确定拉伸强度, 那么根据范围 3 或 4 规定, 试件平行长度的估计应变率可能会被应用于整个测试中。

10.3.3 基于应力速率的测试率 (方法 B)

10.3.3.1 一般原则

测试率取决于材料性质, 应符合下列要求。除非另有规定, 任何便利的测试速度的最大应力相当于指定屈服强度的一半。超出这一点的测试率指定如下。

注: 在确定屈服特性时, 方法 B 的意图并不是保持应力速率不变或利用闭环力控制应力速率, 而是设置十字头速率在弹性区内达到目标应力速率 (见表 3)。当被测试试样开始屈服时, 应力速率降低, 在试样出现间断屈服时, 甚至可能变负。通过屈服过程保持恒定应力速率需要测试机以极高速度运行, 在大多数情况下, 这既不实用, 也不可取。

10.3.3.2 屈服和保证强度

10.3.3.2.1 上屈服强度, R_{eH}

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 $150000\ MPa$ 的典型材料包括锰、铝合金、铜和钛。弹性模量大于 $150000\ MPa$ 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 $R / \text{MPa} \cdot \text{s}^{-1}$	
	最小	最大
<150000	2	20
≥ 150000	6	60

10.3.3.2.2 下屈服强度

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 $0.00025/\text{s}^{-1} \sim 0.0025/\text{s}^{-1}$ 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。

10.3.3.2.3 上屈服强度和下屈服强度, R_{eH} 和 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。

10.3.3.2.4 规定塑性延伸强度 R_p 、规定总延伸强度 R_t

试验机的横梁分离速率应在表 3 相应的应力速率范围内,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 0.0025s^{-1} 。

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,直至屈服完成的应变速率,应采用等效于表 3 规定的应力速率的试验机横梁分离速率。

10.3.3.3 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

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 0.008s^{-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 0.008s^{-1} 的单一试验速率。

10.3.4 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:

ISO 6892Annn、ISO 6892Bn

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: ISO 6892-1:2009A224 定义本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: ISO 6892-1:2009B30 定义试验为应力速率控制,试验的名义应力速率为 $30\text{MPa}/\text{s}^{-1}$ 。

示例 3: ISO 6892-1:2009B 定义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, S_0 (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， S_0 （见图 2）。

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 10.3.2.3 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，划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段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划出这一平行线，推荐采用如下方法（见图 6）。

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 1：可以用各种方法修正曲线的原点。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）。

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（见附录 A）。

注：另一个可行的方法参照 GB/T 228^[12]

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（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 10s~12s，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“ $R_{0.5}=750\text{MPa}$ 通过”意思是对试样施加 750MPa 的应力，产生的残余延伸小于等于 0.5% 。

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_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）。

试验报告应注明确定均匀加工硬化开始点的方法（见图 7a）或 b））。

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。

最大力塑性伸率 A_g 按照式（3）进行计算：

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

式中

L_e 是引伸计标距；

m_E 是应力—延伸率曲线弹性部分的斜率；

R_m 是抗拉强度；

ΔL_m 是最大力下的延伸。

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）。

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（4）计算：

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \cdot 100 \quad (4)$$

式中：

L_e 是引伸计标距；

ΔL_m 是最大力下的延伸。

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（5） 计算：

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} \cdot 100 \quad (5)$$

式中

L_e 是引伸计标距；

ΔL_f 是断裂总延伸。

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。

按公式（6）计算断后伸长率 A：

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad (6)$$

式中：

L_o 是原始标距；

L_u 是断后标距。

应使用分辨力足够的量具或测量装置测定断后伸长量（ $L_u - L_o$ ），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 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。

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 ISO 2566-1 和 ISO 2566-2 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。

如有必要，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。

断面收缩率，Z，按照式（7）计算：

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \cdot 100 \quad (7)$$

式中

S_0 是平行长度的原始横截面积

S_u 是断后最小横截面积

S_u 的测量误差为 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。

22 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) 注明 ISO 6892 的本部分试验条件信息（如 10.3.4 的要求），例如 ISO 6892-1:2016 A224；
- b) 试样标识；
- c) 规定的材料，如已知
- d) 试样类型；
- e) 试样的取样方向和位置（如已知）；
- f) 试验控制模式和试验速率范围（见 10.3.1）如果与 10.3.2 和 10.3.3 推荐的方法不同；
- g) 试验结果。
 - 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（按 ISO 80000-1 的要求）。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 1MPa；
 - 屈服点延伸率， A_e ，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，Z，修约至 1%。

23 测量不确定度

23.1 总则

测量不确定度的分析是用来确定测量结果的不一致性。

产品标准和材料性能不确定度的数据参照 ISO 6892 及其 ISO 6892 的早期版本。因此经过进一步调整，以测量缺陷产品的不确定度。因此，用于估算不确定度的下列信息仅供参考，除非客户被告知。

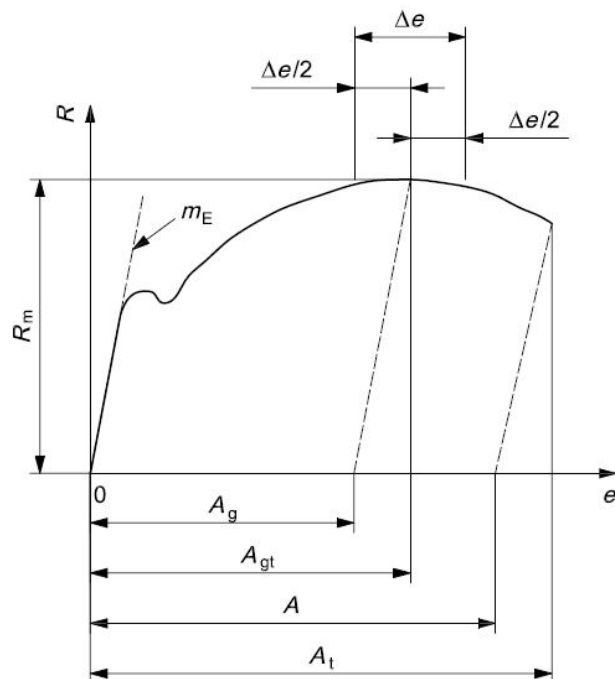
23.2 试验条件

试验条件与限制符合本标准的规定，测量不确定度不予以考虑，除非客户被告知。

23.3 试验结果

预估不确定度的测量不应计入最终结果，从而影响产品规格，除非客户被告知。

附录 J 和 K 提供了与计量参数相关的不确定度指南，并提供了一组钢和铝合金通过实验室间试验得到的拉伸试验不确定度值。



图解

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））

A_g : 最大力塑性延伸率

A_{gt} : 最大力总延伸率

A_t : 断裂总延伸率

e: 延伸率

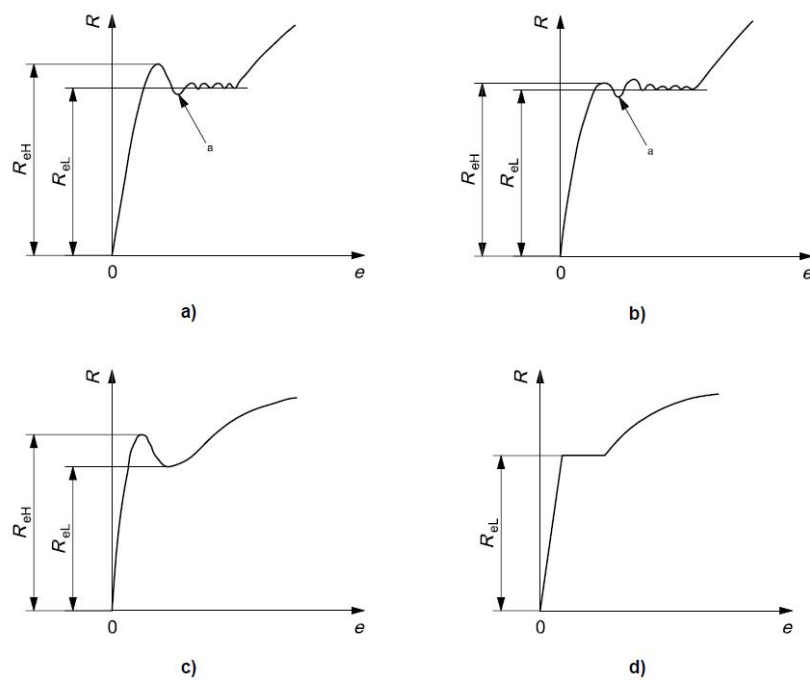
m_E : 应力—延伸率曲线上弹性部分的斜率

R: 应力

R_m : 抗拉强度

Δe : 平台范围（ A_g 的测量见 17 章， A_{gt} 的测量见 18）

图 1 延伸的定义



图解:

e 延伸率

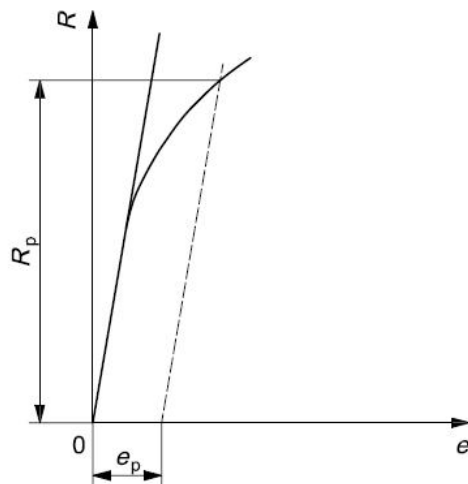
R 应力

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



图解:

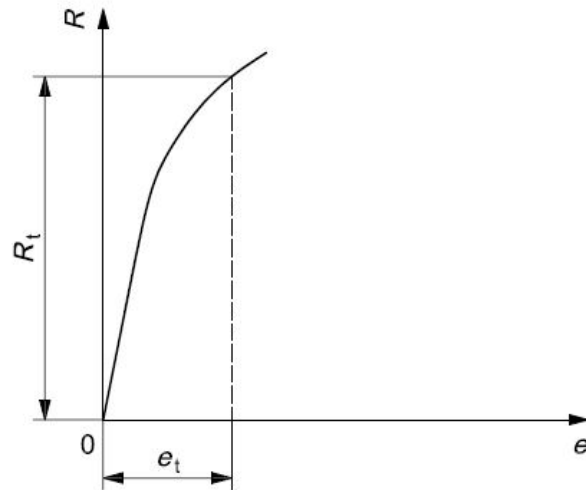
e : 延伸率

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)



图解:

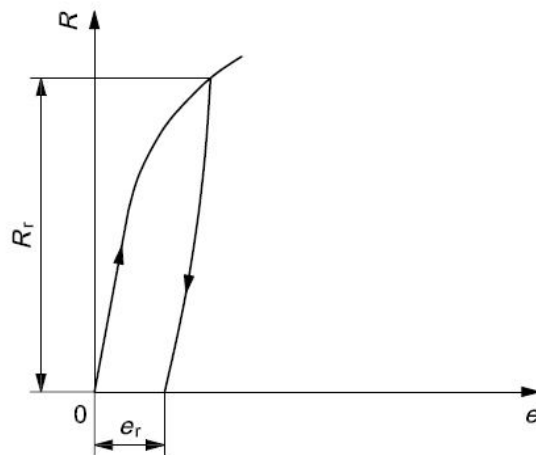
e : 延伸率

e_t : 规定的总延伸率

R : 应力

R_t : 规定总延伸强度

图 4 规定总延伸强度 R_t



图解:

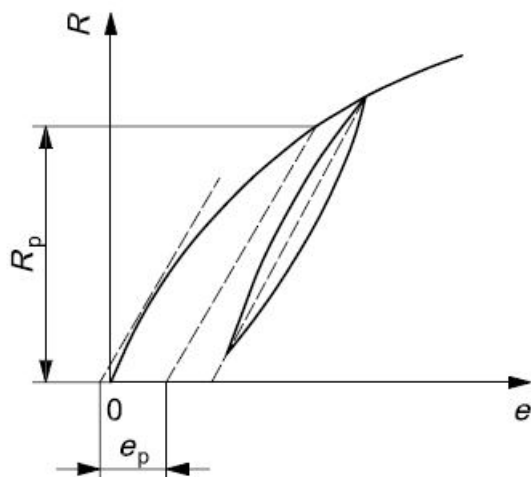
e : 延伸率

e_r : 规定的残余延伸率

R : 应力

R_r : 规定残余延伸强度

图 5 规定残余延伸强度 R_r



图解:

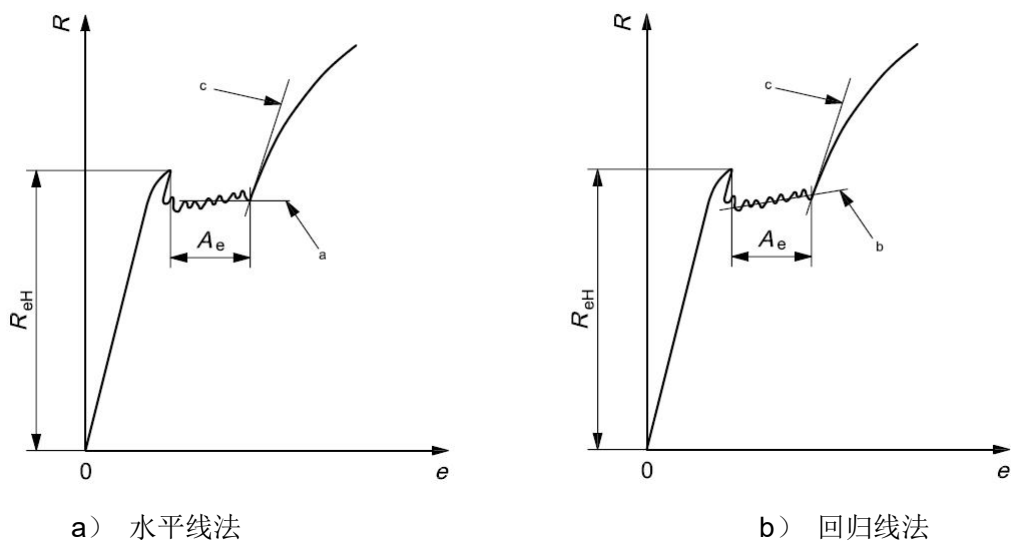
e : 延伸率

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)



a) 水平线法

b) 回归线法

图解:

A_e : 屈服点延伸率

e 延伸率

R 应力

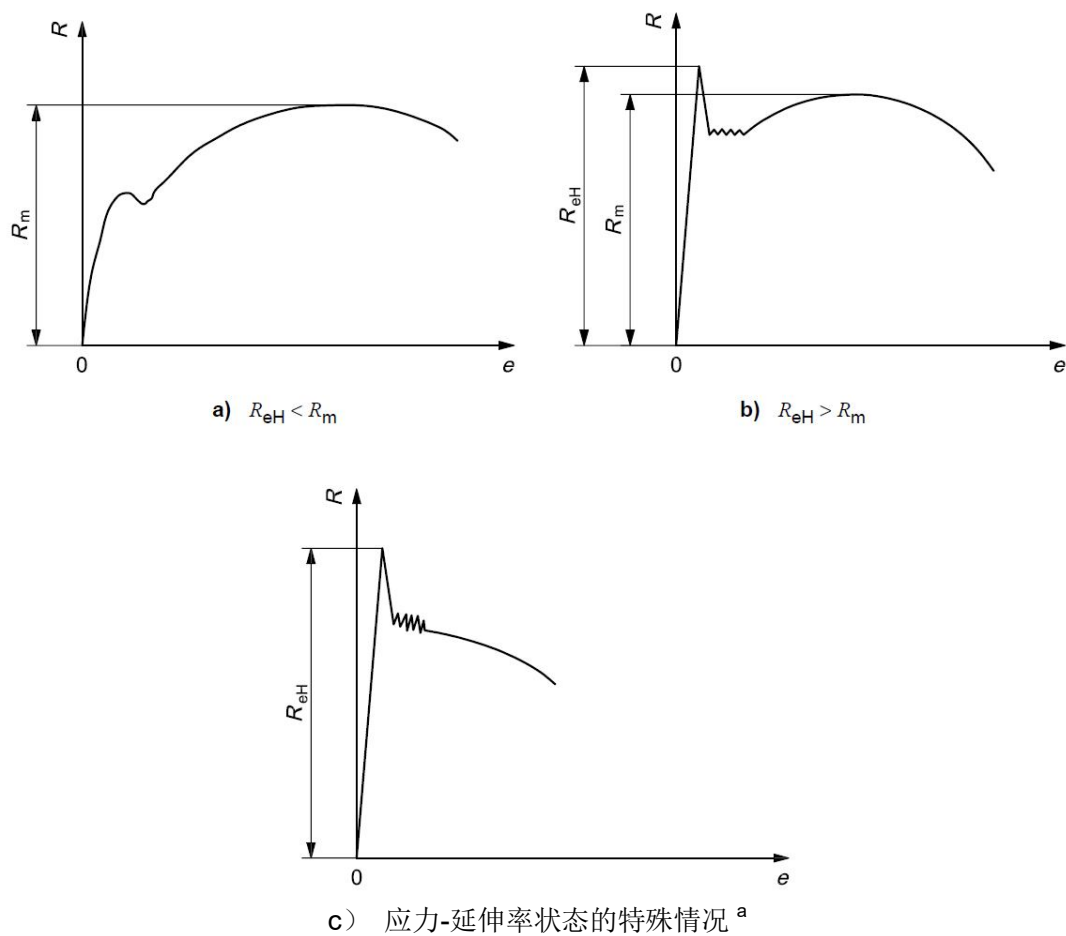
R_{eH} : 上屈服强度

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



图解:

e 延伸率

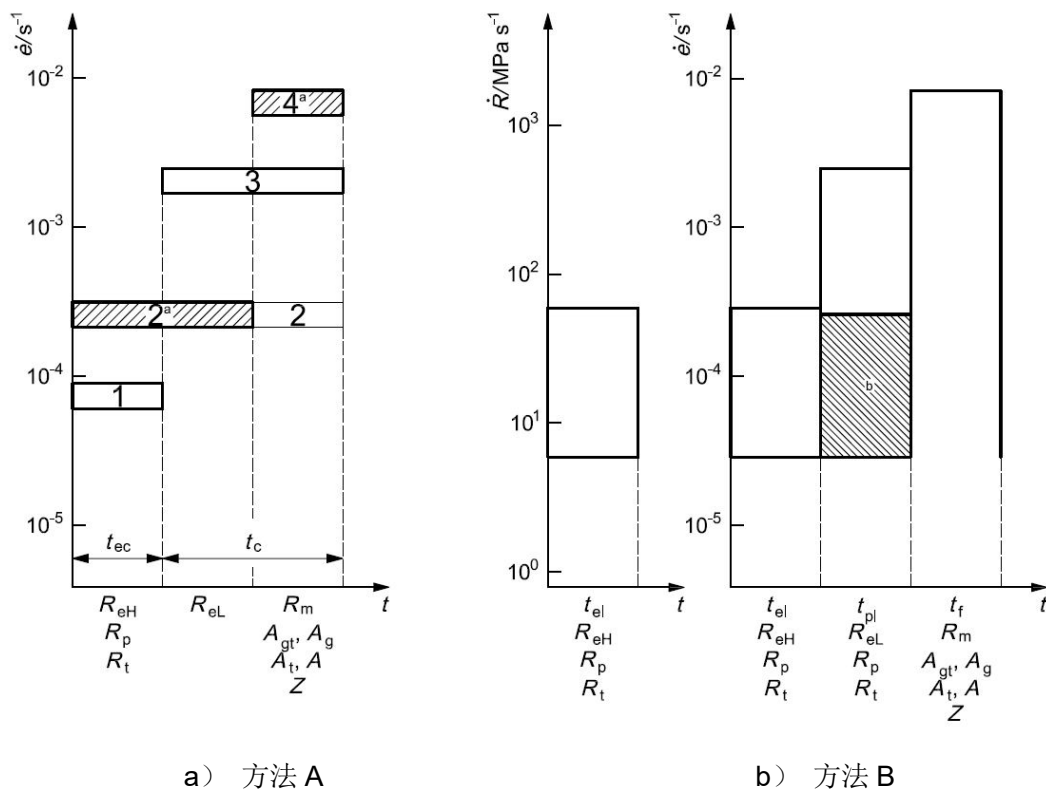
R 应力

R_{eH} : 上屈服强度

R_m : 抗拉强度

^a: 呈现图应力-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



图解:

$\dot{\epsilon}$: 应力速率

\dot{R} : 应变速率

t 拉伸试验时间进程

t_c 十字头控制时间

t_{ec} 延伸仪控制时间或十字头控制时间

t_{el} 所列参数的时间测定范围（弹性行为）（牌号参照表 1）

t_f 所列参数的时间测定范围（通常达到断裂程度）（牌号参照表 1）

t_{pl} 所列参数的时间测定范围（塑性行为）（牌号参照表 1）

1 范围 1: $\dot{\epsilon} = 0.00007s^{-1} \pm 20\%$

2 范围 2: $\dot{\epsilon} = 0.00025s^{-1} \pm 20\%$

3 范围 3: $\dot{\epsilon} = 0.002s^{-1} \pm 20\%$

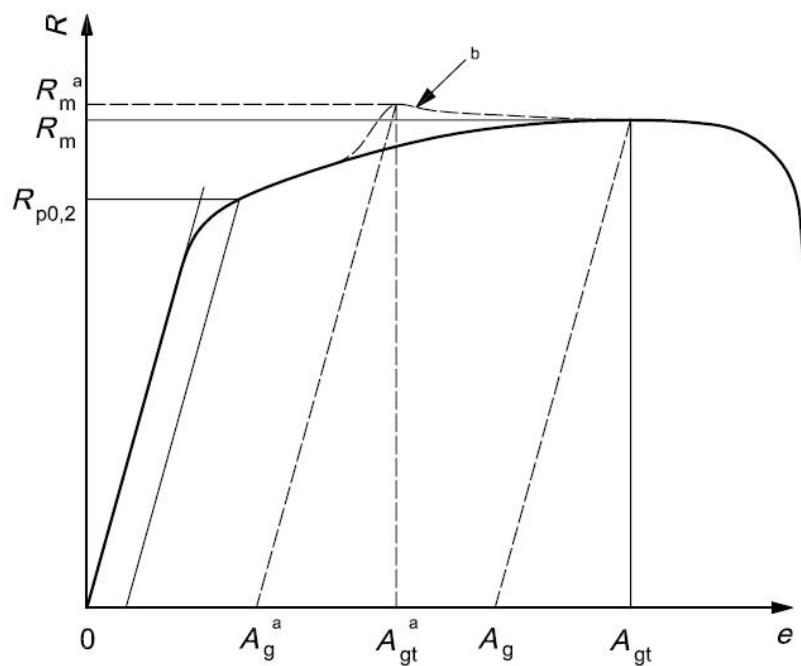
4 范围 4: $\dot{\epsilon} = 0.0067s^{-1} \pm 20\%$ ($0.4min^{-1} \pm 20\%$)

5 控制模式: 伸长计控制或十字头控制

注 1: 符号参照表 1。

注 2: 方法 B 中应变速率的弹性范围通过应力速率计算, 杨氏模量值为 210000MPa (钢制)。

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



图解：

e 延伸率

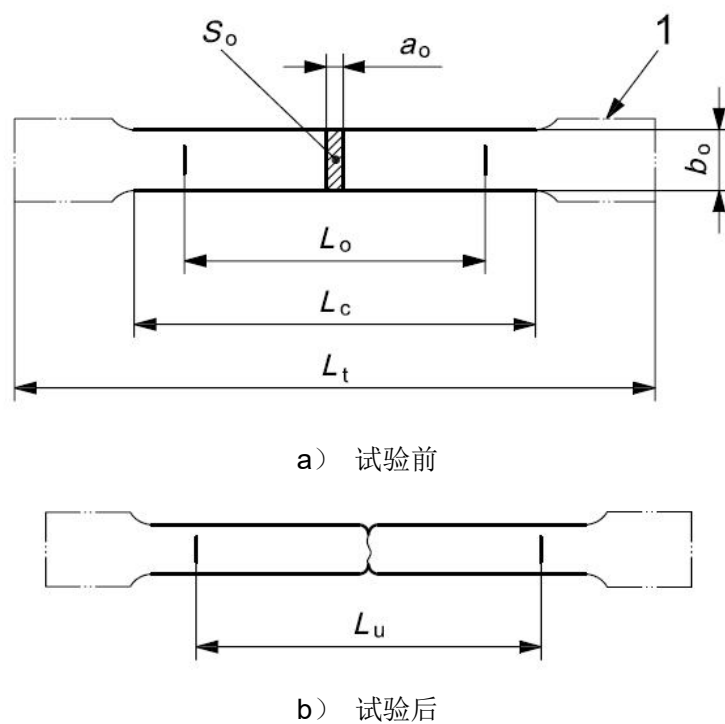
R 应力

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-延伸率状态

注： 参数定义，见表 1

图 10 在应力-延伸率曲线上不允许的不连续性示例



a) 试验前

b) 试验后

图解：

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_c : 平行长度

L_0 : 原始标距

L_t : 试样总长度

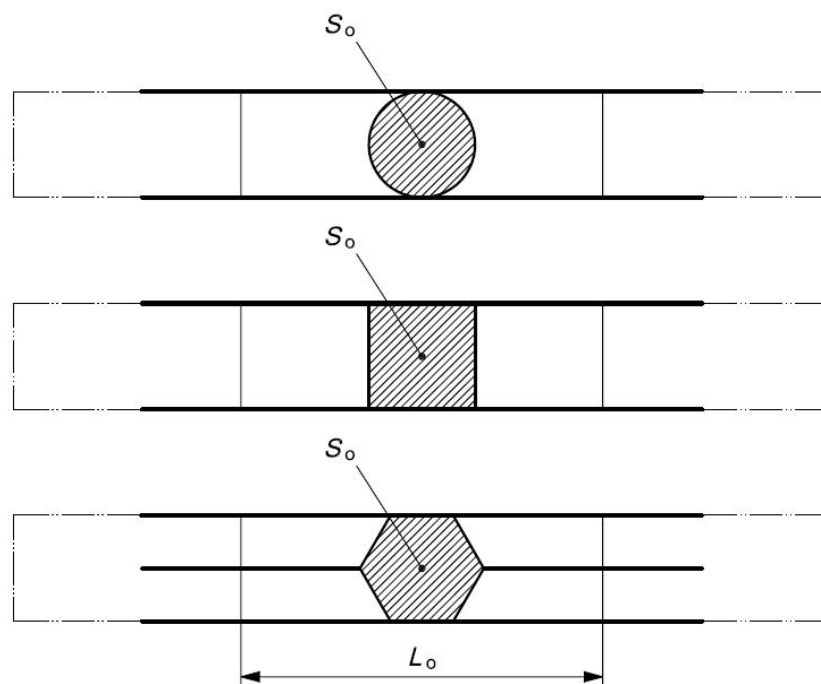
L_u : 断后标距

S_0 : 平行长度的原始横截面积

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)

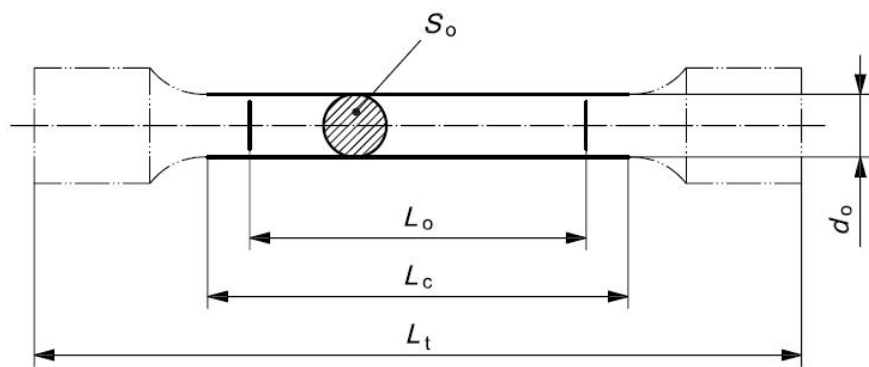


图解:

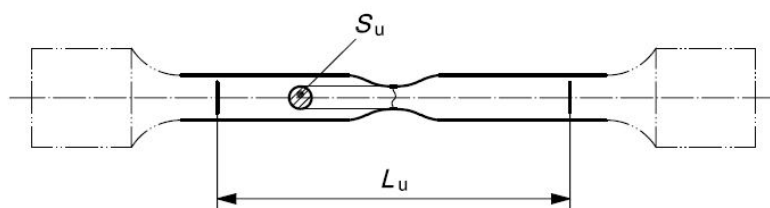
L_0 : 原始标距

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

图解:

d_0 : 圆试样平行长度的原始直径

L_c : 平行长度

L_0 : 原始标距

L_t : 试样总长度

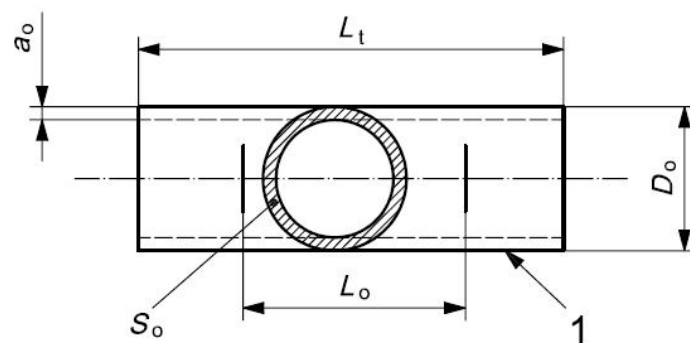
L_u : 断后标距

S_0 : 平行长度的原始横截面积

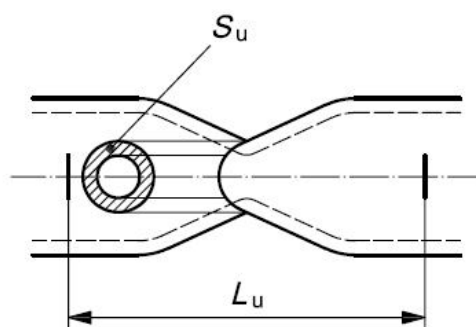
S_u : 断后最小横截面积

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)



a) 试验前



b) 试验后

图解:

a_o : 原始管壁厚度

D_o : 原始管外直径

L_o : 原始标距

L_t : 试样总长度

L_u : 断后标距

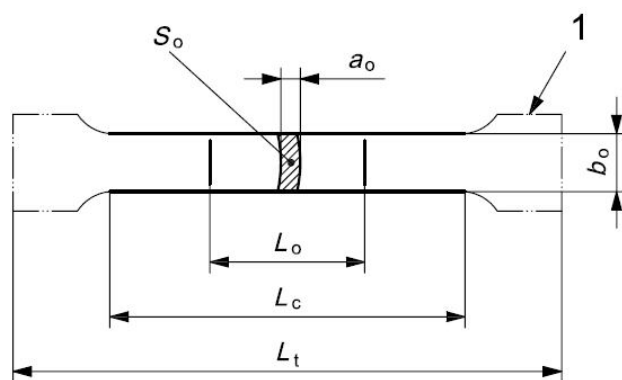
S_o : 平行长度的原始横截面积

S_u : 断后最小横截面积

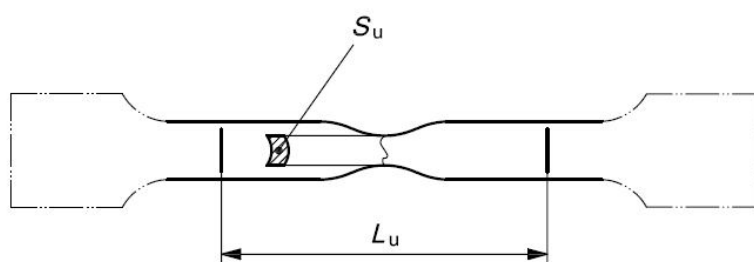
1 夹持头部

注: 试样头部形状仅为示意性。

图 14 圆管管段试样 (见附录 E)



a) 试验前



b) 试验后

图解:

a_o : 原始管壁厚度

b_o : 圆管纵向弧形试样原始管宽度

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

1 夹持头部

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)

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 拉伸试验机

A.2.1 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。

```
"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"  
"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"  
"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  
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  
.  
.
```

图解:

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

A.2.2 数据采样频率

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} :

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

式中:

$\dot{\epsilon}$: 应变速率, s^{-1} ;

E : 弹性模量, MPa;

R_{eH} : 上屈服强度, MPa;

q : 试验机测力系统的准确度级别。(参照 ISO 7500-1)

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:

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

式中:

\dot{R} —应力速率, 单位为兆帕每秒 (MPa s^{-1})。

A.3 力学性能的测定

A.3.1 总则

试验机的软件应考虑下列要求:

A.3.2 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.3.3 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.3.4 最大力总延伸率

在 3.6.4 定义的 A_{gt} (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-延伸率曲线的光滑处理。光滑处理的程度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.3.5 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。光滑处理的程度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。

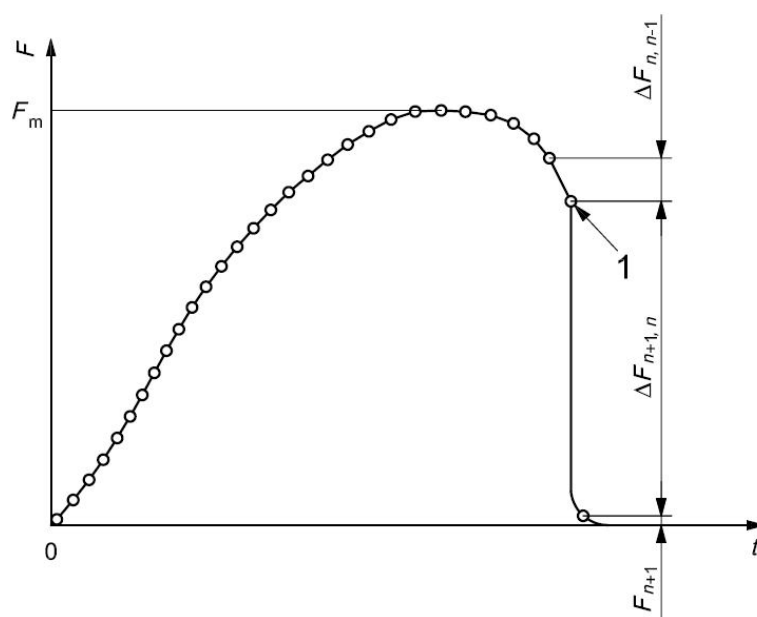
A.3.6 断裂总延伸率

A.3.6.1 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。

- 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%；
- 低于最大力值的 2%（软材料）。

检测试样断裂的另一个有效的方法是监控通过试样的电压或电流，当电流检测值突然中断表明断裂发生。



图解：

F : 力

F_m : 最大力

F_{n+1} : 测量点之间力值差 $n+1$

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

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

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.3.6.2 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.3.6.3 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.3.7 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：

- a) 可变化部分的长度（使用的点数）；
- b) 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。

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：

- c) 可变化部分的斜率恒定；
- d) 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。

可用方法参照规范性引用文件[5], [17], [18], [19].

一种测定弹性线斜率评估 $R_{p0.2}$ 【引用文件[20]】的方法如下：

- 线性范围的线性回归；
- 下极限：≈10%的 $R_{p0.2}$ ；
- 上极限：≈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.4 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 ^a	相对 ^c	绝对 ^c
$R_{p0.2}$	$\leq 0.5\%$	^c	$\leq 0.35\%$	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		$\leq 2\%$		$\leq 2\%$

^a 其中: $D = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n D_i$;

^b $s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (D_i - D)^2}$

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。

A.5 标准的计算机兼容表示

在 CEN / WS ELSSI-EMD 范围内开发的标准的计算机可读的数据格式计算机兼容表示提供了克服系统互操作性问题有效手段, 并且启用工程材料部门电子报告。CEN/WS ELSSIEMD 旨在建立基于机械测试文件标准的数据格式定义可行性研究, CWA 16200.[42]对其进行了报道。CWA 16200 在对基于文献测试标准计算机可读数据格式定义进行描述方面所采取的指导方针已应用于 ISO 6892-1。由此生成的定义可从 BSI 标准资源服务器上查到。为了演示潜在用法, CWA 16200 列举了一些有关基于拉伸试验数据格式报告能力例子, 作为 TENSTAND 项目一部分(RIDES and LORD, 2005[21]), 该测试使用了由拉伸认证参考材料 CRM 661 (INGELBRECHT and LOVEDAY 2000[29])制造的试件。

附录 B

(规范性附录)

厚度 0.1mm~<3mm 薄板和薄带使用的试样类型

B.1 总则

对于厚度小于 0.5mm 的产品，有必要采取特殊措施。

B.2 试样的形状

试样的夹持头部一般比其平行长度 (L_c) 部分宽。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 $\geq 1.2b_0$ ， 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 20mm 的产品，试样宽度可以相同于产品宽度。

B.3 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 $L_0 + b_0/2$

有争议时，平行长度应为 $L_0 + 2 b_0$ ，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 $L_0 + 3 b_0$ 。

当对每支试样测量尺寸时，应满足表 B.2 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。

表 B.1 试样尺寸

单位为毫米

试样类型	宽度 b_0	原始标距 L_0	平行长度 L_c		平行试样间夹头的自由长度
			最小值	推荐的	
1	12.5 \pm 1	50	57	75	87.5
2	20 \pm 1	80	90	120	140
3	25 \pm 1	50 ^a	60 ^a	--	未规定

a 试样类型 3 中的值 L_0/b_0 和 L_c/b_0 与类型 1 和类型 2 相比非常低。作为性能结果，尤其是断后伸长率（绝对值和分散范围），此试样将与其他试样类型分开测量。

表 B.2 试样宽度公差

单位为毫米

试样宽度公差	加工公差 ^a	形状公差 ^b
12.5	± 0.05	0.06
20	± 0.10	0.12
25	± 0.10	0.12

a 上述公差是可适用的如果原始段截面面积 S_0 的标称值包含在计算结果中，可以不测量
b 试样整个平行长度范围 L_c ，宽度测量值的最大最小之差。

B.4 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.2 的要求。例如对于名义宽度 12.5mm 的试样，尺寸公差为 $\pm 0.05 \text{ mm}$ ，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.5 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。（见表 B.2 的脚注）

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 4mm 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 $L_0 + 3b_0$ ，最小值为 $L_0 + 20\text{ mm}$ 。

表 C.1 非比例试样

如果不测定断后伸长率，两夹头间的最小自由长度可以为 50mm。

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，取其算数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：

$$S_0 = \frac{1000\ m}{\rho\ L_t} \quad (\text{C.1})$$

其中

m : 试样质量,单位 g ;

L_t : 试样的总长度 , 单位 mm ;

ρ : 试样材料密度, 单位 gcm^{-3} 。

附录 D

(规范性附录)

厚度等于或大于 3mm 板材和扁材以及直径或厚度等于或大于 4mm 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, $0.75 d_0$;
- b) 其它试样, 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_c 应至少等于:

- a) $L_0 + (d_0/2)$

对于圆形横截面试样;

- b) $L_0 + 1.5\sqrt{S_0}$ 对于其它形状试样。

对于仲裁试验,平行长度应为 $L_0 + 2 d_0$ 或 $L_0 + 2 S_0$, 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:

$$L_0 = k\sqrt{S_0} \quad (D.1)$$

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 推荐的尺寸。

表 D.1 圆形横截面比例试样

比例系数 k	直径 d mm	原始标距 $L_0 = k\sqrt{S_0}$ mm	最小平行长度 L_c mm
5.65	20	100	110
	14	70	77
	10	50	55
	5	25	28

D.2.3.2 非比例试样

矩形横截面非比例试样尺寸参照相关的产品标准规定，允许使用非比例试样。
平行长度不应小于 $L_o + b_o/2$ 。对于仲裁试验，平行长度应为 $L_c = L_o + 2b_o$ ，除非材料尺寸不足够。
一些类型的详细试样尺寸参照表 D.2。

表 D.2 典型试样尺寸

单位为毫米			
宽度 b_o	原始标距 L_o	最小平行长度 L_c	总长度近似值 L_t
40 ± 0,7	200	220	450
25 ± 0,7	200	215	450
20 ± 0,5	80	90	300

D.3 试样的制备

D.3.1 总则

表 D.3 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例子：

D.3.2 尺寸公差

表 D.3 给出的值，例如对于名义直径 10mm 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.3 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 10mm 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 9.99mm，它的最大直径不应超过：9.99 mm + 0.04 mm = 10.03 mm。

表 D.3 — 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 ≤ 6	± 0.02	0.03
	> 6 ≤ 10	± 0.03	0.04
	> 10 ≤ 18	± 0.05	0.04
	> 18 ≤ 30	± 0.10	0.05
相对两面机加工的矩形横截面试样横向尺寸	≥ 3 ≤ 6	± 0.02	0.03
	> 6 ≤ 10	± 0.03	0.04
	> 10 ≤ 18	± 0.05	0.06
	> 18 ≤ 30	± 0.10	0.12
	> 30 ≤ 50	± 0.15	0.15

^a 上述公差是可适用的如果原始段截面面积 S_0 的标称值包含在计算结果中, 可以不测量

^b 试样整个平行长度范围 L_c , 宽度测量值的最大最小之差。

D.4 原始横截面积的测定

对测试件四面进行加工以满足表 D.3 中的公差, 公称尺寸可以被用来计算圆形截面测试件和矩形截面测试件面积 S_0 。对于所有其他形状测试件, 原来的横截面面积应采用适当尺寸测量计算, 每面误差不超过 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。纵向弧形试样一般适用于管壁厚度大于 0.5 mm 的管材。

E.2 试样的尺寸

E.2.1 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 ,而其形状应不防碍标距内的变形。

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。

E.2.2 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 3mm 时,采用附录 B 的表 B.1 或 B.2 的试样;管壁厚度大于或等于 3mm 时,采用附录 D 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.2.3 机加工的纵向试样

试样采样方法参照产品标准。

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:

$$S_0 = \frac{1000 m}{\rho L_t} \quad (\text{E.1})$$

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(gcm⁻³)。

对于圆管纵向弧形试样,按照下面的式(E.2)计算原始横截面积:

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

式中:

a_0 : 管的壁厚;

b_0 : 纵向弧形试样的平均宽度;

D_0 : 管的外径。

下列简化的公式适用于纵向弧形试样:

$$\left. \begin{aligned} S_o &= a_o b_o \left[1 + \frac{b_o^2}{6D_o(D_o - 2a_o)} \right] & \text{if } \frac{b_o}{D_o} < 0,25 \\ S_o &= a_o b_o & \text{if } \frac{b_o}{D_o} < 0,10 \end{aligned} \right\} \quad (E.3)$$

对于管段试样，按照下列式（E.5）计算原始横截面积：

$$S_o = \pi a_o (D_o - a_o) \quad (E.4)$$

附录 F

(资料性附录)

考虑试验机柔度估计的横梁位移速率

公式(2)不考虑在应力作用于测试件过程中测试设备(框架、测压元件、夹具等)出现的任何弹性变形。可以通过在照射点利用试件刚度估计测试设备的挠度补偿(如 $R_{p0.2}$)。如果照射点超出弹性范围(例如 $R_{p0.2}$)，应力-应变曲线的弹性部分中试验件的刚度使用将导致严重高估校正。测试设备刚度也因为使用的握把结构和夹头分离被人们所熟悉，随着在测试过程中试件咬入，测试设备的有效刚度可能会大幅增加。在照射点对测试设备的刚度进行评估非常重要。

如有需要，使用以下过程利用试验装置在照射点的刚度和应力-应变曲线斜率计算十字分离率以补偿测试过程中测试设备的挠度。建议在做试验时检查照射点所产生的应变速率以确保计算适当。

公式(F.1)以倒数秒形式给出了测试中照射点处所估计的应变率(参见参考文献【39】)：

$$\dot{\epsilon}_m = \frac{v_c}{\frac{m \cdot S_o}{C_M} + L_c} \quad (F.1)$$

式中：

C_M ：试验装置的柔度，单位为毫米每牛顿(mmN^{-1}) (如果柔度不是线性，比如楔形夹头，应取相关点的值 $R_{p0.2}$)。

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_o ：原始横截面积，单位为平方毫米(mm^2)

v_c ：横梁分离速率，单位为毫米每秒(mm s^{-1})

注：从应力—应变曲线弹性部分得到的 m 和 C_M 不能用。

式(2)不能补偿柔度效应(见 10.3.2.1)。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)(见参考文献 40)计算得到：

$$v_c = \dot{\epsilon}_m \left(\frac{m S_o}{C_M} + L_c \right) \quad (F.2)$$

使用公式(F.1)或(F.2)时，有必要了解全套使用的测试设备的刚度(试验台、测压元件、待测试件夹紧系统)。如下程序，首次出现在参考文献【53】中，提供了正确的刚度值 C_M 。

使用已知常数十字头分离率对与随后测试材料几何形状相同、属性相似的测试试件进行测试。

— 应力/应变图中照射点附近斜率 m ；

— 扩展比例/时间曲线上照射点附近生成的应变率。

现可以使用公式(F.3)计算刚度【按照 C_M ，公式(F.1)或者公式(F.2)的转换】。

$$C_M = \frac{m \cdot S_o}{\frac{v_c}{\dot{\epsilon}_m} - L_c} \quad (F.3)$$

此程序应只用于在相关范围内无间断屈服行为的材料。对于具有间断屈服或锯齿形屈服的测试材料，没有必要了解其刚度，因为平行长度估计应变速率，使用简化公式(2)(见 10.3.2.1)

代替公式 (F.2) 计算十字头分离率 V_c 。

附录 G

(资料性附录)

为用单轴拉伸试验对确定金属材料弹性模量的测定

G.1 绪言

尽管 ISO 6892-1 要求给出一条直线，给定偏置测线平行于应力-应变曲线的线性区，以确定实验材料具体的保证强度，而大多数用户通常认为应力-应变曲线的线性区斜度对应试验材料的弹性模量，因为弹性模量 E 由关系式 $E = \text{应力} / \text{应变得出}$ 。然而，整体上将拉伸试验所需的 1 类伸长仪不足以测量弹性区域非常小的应力，没有足够精确性来给出模量值，以及可接受的不确定程度。

不需要使用附录来确定应力-比例伸长曲线的弹性部分斜度，以确定保证强度。

ASTM E 111^[52] 中给出了用拉伸试验确定弹性模量的补充性描述，相关信息也可参见 SEP 1235^[43]

G.2 总则

附录部分包括使用单轴拉伸试验确定弹性模量的额外要求。本次试验方式仅限于能达到如下标准的材料：

- 评估范围内材料的细微的蠕变效应；
- 评估范围内材料弹性范围内足以满足要求的直线；

这些要求同试验设备的设计、试验用具和试验评估相关。

弹性模量是一种典型的材料属性，用于计算符合胡克定律的产品及零部件的弹性。

注 通常，由于伸长仪位移能力有限，本试验只作为除拉伸试验外的单独试验。

G.3 试验设备

G.3.1 试验设备的精度

G.3.1.1 侧力设备

试验器材的测力系统应符合 ISO 7500-11 类相关范围内的规定。

G.3.1.2 伸长仪系统

伸长仪系统应符合 ISO 9513 中 0, 5 类相关范围内的规定。

应力测量对象为试件的另一边。

推荐采用标准长度更大的伸长仪（比如， $\geq 50 \text{ mm}$ ）。

G.3.1.3 试验系统的分辨率

试验系统分辨率应足够获取评估范围内至少 50 个不同的离散测量值。

G.3.1.4 确定相关试件尺寸的测量设备

用于确定初始横截面积的所有测量设备应满足适当的标准，可追溯至国家计量系统。测量设备应足以保证测量数据的准确性，要优于测量值的 $\pm 0, 5\%$ 。

G.3.2 咬入与排列方法

咬入与排列方法是确定弹性模量的重要因素。与咬入方法相关的要求参见 10.2，更多信息请参见 ASTM E1012。其他有用信息参见 ISO 23788。

建议采用机械设备（比如限位器）来固定试件，以达到很好的排列效果。

G.4 试件

G.4.1 总则

试件应平直。

注 弯曲或扭曲的试件无法按照本附录进行试验。

试件表面的情况不得影响试验结果。

如果试样中出现残余应力，无论是之前加工的结果，还是样品制备的结果，所确定的模量值可能无法代表基础材质。

G.4.2 对原横截面积的测定

如需确定初始横截面积，参见第 7 条。除第 7 条要求外，对每个维度三个测量值的最小值进行试验。因此初始横截面积是平均横截面积，应按照适当维度测量结果进行计算。初始横截面积应按照 $\pm 0.5\%$ 或更高准确度确定。

G.5 步骤

G.5.1 总则

如果满足 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 标准的应力-应变弧线是未知的，应在测量弹性模量前进行预试验。

G.5.2 设置力度零点

设置力度零点应遵照 10.1 的规定。

G.5.3 试验条件

G.5.3.1 试验速率

同拉伸试验内确定的其他属性相比，弹性模量的敏感度应低于试验速率。试验速率应符合方法 A 范围 1。允许采用包括方法 B 在内的其他试验速率。

试验速率可以降低，以达到分析所需的数据点数量。

可以使用恒定的横梁位移速率来避免任何不连续的情况出现。

G.5.3.2 数据采样频率

数据抽样频率的选择方式应确保获得相关范围内 50 个测量值的最小值。

最小数据抽样频率才采用公式 (G.1) 计算：

$$(G.1)$$

N 为相关范围内测量值的数量。

对于 $R_1 = 10$ 兆帕、 $R_2 = 50$ 兆帕以及试验速率为 $0,000\,07\text{ s}^{-1}$ 的钢材，数据抽样频率应大于 18 Hz。

G.5.3.3 试验规程

如果为确定模量而使用试件超过一次，所用荷载的值不得超过对应预计 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 的 50%。否则，推荐在可观察到塑性变形的点进行试验。

G.6 评定

G.6.1 求应变测定信号的平均值

通过求试件对边的应力平均值来计算 G.6.2 计算所需的平均应力。

可以显示试件每侧的应力数据，两条曲线斜率的差距可以通过优化试验设备的方式减少（减少弯曲）。如需更多信息，请参见 ASTM E 1012。其他有用信息参见 ISO 23788。

G.6.2 计算弹性模量

建议采用如下交互式方法评估所记录的数据。

该方法（最小二乘法）以确定弹性范围内最佳拟合线为基础，包括对最佳拟合线和实际测量读数曲线之间的匹配程度目测评估，以及适用的情况下重新计算备选参数。因此本质上同 X-Y 图表人工分析是对应的。

采用本方法以合适的电脑软件可利用程度为基础。

下应力值 R_1 和上应力值 R_2 之间可进行应变之上应力线性回归 (G.4)（或者可采用应变值 e_1 和 e_2 ）：

(G.2)

式中

R 为应力，单位：兆帕；

E 为弹性模量，单位：兆帕；

e 为伸长率，单位：%；

b 为屈服强度，单位：兆帕。

本方式确定的直线应画入应力-应变图，为此需展示该图的初始部分。对直线与曲线之间的匹配程度进行目测评估。考虑关联值 R^2 的系数也需要很有帮助， R^2 应接近 1 ($>0,9995$)，而考虑的数据点数量至少为 50。

计算相对标准差也很有帮助。相对标准差需要考虑关联值 R^2 的系数，以及其他统计数据中考虑的数据点数量。应不大于 1%。

通过转移上下值以及重新计算本公式，本曲线可应用该最佳拟合线（即弹性模量）。

建议采用如下值为计算回归的开始点：

AI1 下限值 $\approx 10\%$ of R_{eH} or $R_{p0.2}$ ；

AI2 上限值 $\approx 40\%$ of R_{eH} or $R_{p0.2}$ 。

此外，可以按照[公式 \(G.3\)](#) 计算屈服应力：

(G.3)

在最佳试验条件下，所选的默认值不会对计算结果产生较大影响。示例：如果材料满足 [G.2](#) 描述的一般条件，所确定的默认值 R_1 和 R_2 分别为 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 的 10% 和 40%，通过采用已确定间隔内默认值对该公式进行重复计算（比如分别为 R_{eH} 或 $R_{p0.2}$ 的 10%-20%，20%-30%，30%-40%）将不会对结果造成较大影响。

如果材料没有表现出弹性直线，比如铸铁，或回归数据无法满足质量要求，即 $R^2 < 0,9995$ ，不应确定弹性模量。

建议就用于试验的配置下采用合适的参考试件，对结果的可重复性进行常规检查。

应在室内制造适当的参考试件，同测试件有相同的几何结构。

弹性模量评估可采用进一步的数学方法以及计算分析方法。

G.7 测量不确定度

G.7.1 总则

对于已确定的弹性模量，对测量不确定度的评定工作可以遵照 CWA 15261-2: 2005, A.5^[9] 或附录 K 进行。

注 遵照 CWA 15261-2 对测量不确定度的评定以绝对值为基础。这造成每一次的不确定度概算有着不同的评定结果，即试件尺寸或伸长仪标准长度有所区别。遵照附录 K 对测量不确定度的评定以相对评定值为基础。以此，相对评定值通常是不会变化的。但针对应力测量进行的相对测量不确定度概算是一种例外。由于试验期间弹性部分伸缩变化范围较小，应力测量的绝对不确定度同不确定度分配值相关（遵照 ISO 9513）。

G.7.2 按照 CWA 15261-2 对测量不确定度的评定

G.7.2.1 总则

注 在 CWA 15261-2，符号 L_o 用于标准长度，而 m_E 用于施力伸长关系曲线的弹性部分斜率。为同 ISO 6892 的该部分保持一致，防止如下内容中（不同与 CWA）出现歧义，符号 L_e 用于伸长仪标准长度， S_E 用于施力伸长关系曲线的弹性部分斜率。

公式 (G.4) 给出了符合 CWA 15261-2 规定的测量不确定度：

$$u_c(E) = \sqrt{\left(\frac{L_e}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(S_E) + \left(\frac{S_E}{S_o}\right)^2 \cdot u^2(L_e) + \left(-\frac{S_E L_e}{S_o^2}\right)^2 \cdot u^2(S_o)} \quad (G.4)$$

式中：

L_e 表示伸长仪标准长度；

S_o 表示净横截面区域

S_E 表示施力伸长关系曲线的斜率；

$u(L_e)$ 表示伸长仪标准长度的不确定度；

$u(S_o)$ 表示初始横截面积的不确定度。

$u(S_E)$ 表示施力伸长关系曲线斜率的不确定度。

G.7.2.2 测量不确定度计算的例子

表 G.1 给出了符合 CWA 15261-2 的测量不确定度的一个例子，针对 186, 7 GPa^[54] 测量后弹性模量基于如下数据： L_e : 50 mm

S_o : 78, 5 mm²

S_E : 293, 07 kN/mm

$u(L_e)$: 0, 144 mm

$u(S_o)$: 0, 785 mm²

u (S_E): 0, 064 kN/mm

表 G.1 — 不确定度分配值，按照 CWA 15261-2 示例 1

参数	灵敏度系数 ^a	不确定度分配值 ^a
$\frac{L_s}{S_0}$	0, 637mm ⁻¹	
u (S _E)		$\frac{KN}{0, 064mm}$
$\frac{S_E}{S_0}$	$3, 733\frac{KN}{mm^3}$	
u (L _e)		0, 144mm
	$-2, 378\frac{KN}{mm^4}$	
u (S ₀)		0, 785mm ²
U _c (E) ^b		$\frac{KN}{1, 9mm^2}$
^a 给出的值仅用于信息参考。		
^b u _c (E) 按式 (G.5) 计算。		

$$u_c(E) = \sqrt{0,637^2 \cdot 0,064^2 + 3,733^2 \cdot 0,144^2 + (-2,378)^2 \cdot 0,785^2} = 1,9 GPa \quad (G.5)$$

如果置信水平为 95%，组合不确定度应乘以包含因子，k = 2 【参见公式 (G.6)】。

$$U(E) = k \cdot u_c(E) = 2 \cdot 1,9 GPa = 3,8 GPa \quad (G.6)$$

2, 0 % 基于弹性模量 186, 7GPa。

弹性模量试验结果为：186, 7GPa ± 3, 8GPa (k = 2, 95 % 置信水平)

这意味着如果置信水平为 95%，弹性模量的真值处于 182, 9GPa 和 190, 5GPa 之间。

G.7.3 按照附录 K 对测量不确定度的评定

表 G.2 给出了符合附录 K 规定的弹性模量应考虑的不确定度分配值。

表 G.2—不确定度分配值，按照附录 K 示例 2

参数	不确定度分配值 ^a %
斜率的标准差，S _{m (rel)}	0, 2

X-Y 图中 X-值的标准差, $S_x^{b, c}$	3
X-Y 图中 Y-值的标准差, S_y	1
伸长仪标准长度, L_e	0, 5
原横截面积, S_0	1
<p>^a 给出的值仅用于信息参考。</p> <p>^b S_m 由 S_x 和 S_y 构成, 因此应考虑 S_x 和 S_y。</p> <p>^c 由于试验中测量的伸长程度较小, 需要采用绝对值 (0, 5 级伸长仪为 1, 5 μm)。示例: $\Delta R = 200 MPa$, $E = 200 GPa$, $L_e = 50 mm$ 造成伸长值为 0, 05 mm。如果采用 1, 5 μm 的偏移误差 (0, 5 级伸长仪的绝对值), 不确定度分配值为 3%。</p>	

公式 (G.7) 给出了用百分比表示的弹性模量的组合不确定度。

$$u_c(E) = \sqrt{\left(\frac{0,2}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{3}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{0,5}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = 1,9\% \quad (G.7)$$

如果置信水平为 95%, 组合不确定度应乘以包含因子, $k = 2$ 【参见公式 (G.8)】。

$$U(E) = k \cdot u_c(E) = 2 \cdot 1,9\% = 3,8\% \quad (G.8)$$

弹性模量试验结果为: (186, 7 \pm 7, 1) GPa ($k = 2$, 95 % 置信水平)。

这意味着如果置信水平为 95%, 弹性模量的真值处于 179, 6 GPa 和 193, 8 GPa 之间。

G.7.4 水平考试

我们进行了杨氏模量水平试验, 确定了所有参与要素的测量不确定度。确定弹性模量时测量不确定度如果在 1, 2% 到 5% 之间 (置信水平为 95 %) 是合理的。^[54]

G.8 试验报告

本实验报告应包含 [Clause 22](#) a) 到 f) 所需的信息。尤其应包括以下内容:

- 伸长仪系统类型;
- 默认应力值分别为 R_1 和 R_2 (用兆帕表示) 或默认应变值为 e_1 和 e_2 ;
- 评估范围内测量值的数量 (在 R_1 和 R_2 或 e_1 和 e_2 之间);
- 弹性模量 E (用 GPa 表示), 四舍五入为最近值 0, 1 GPa, 符合 ISO 80000-1 规定。
- 测量不确定度包括置信水平 (用 GPa 表示) 以及确定方法 (CWA 15261-2: 2005, A.5 或表 G.2);

f) 直线最佳拟合线关联系数 R^2 或标准差 S_m (用 GPa 表示) 或相对标准差 $S_{m(rel)}$ (单位: %)。

G.9 附加考虑因素

一般来说, 除非应用分辨率特变高的平均伸长仪系统, 否则很难确定拉伸试验中模量的可靠值, 而这些仪器通常不适合覆盖拉伸试验的整个范围。如果运用单面伸长仪或夹式引伸计, 试件的任何轻微错位都可能导致显著模量测量出现较大误差。

G.10 测定模量的其他方法

拉伸试验并非确定弹性模量可靠值的最佳方法, 其他可用方法, 比如脉冲激励或超声波均是更好的选择。参考文献【17】和【44】到【46】中可以获取更多信息。

G.11 不确定度和再现性

此处并不包含充分不确定度概算, 但同模量测量相关的、基于 GUM【4】的不确定度评定步骤已纳入欧洲 UNCERT(不确定度)项目部分, 二者都可用于拉伸试验^[47]和动态测量^[48]。表 G.3.^[45]中概述了基于两倍标准差(来自于一系列拉伸测试内部比较测试)的模量测量之再现性, 作为 TENSTAND 项目的一部分。

表 G.3 — 单循环试验概述: 分别为弹性模量或弹性曲线的斜率

参考	制定者:	年所	材 料	再现性 ($\pm 2SD$) %
建筑试验材料	尤恩 ^[50]	1910	软钢。	2
VAMAS	罗德、罗巴克和奥克尼 ^[51]	1995	SiC/Al MMC	6
BCR 拉伸参考材料 CRM 661	英格尔布里奇和罗夫蒂 ^[29]	2000	尼孟镍克合金 75	12
TENSTAND WP3 模量 测量	罗德、莱德斯和罗夫蒂 ^[49]	2005	多种	5–25
TENSTAND WP2 ASCII 资料档案	罗德、罗夫蒂、莱德斯 和麦克恩特加特 ^[22]	2005	多种- ASCII 资料档案	1–6

应该注明的是，上述报告的大多数结果都基于 ISO 6892 中确立的标准或对等的早期标准；多种试验的目标均是确定常见的拉伸试验属性，这也值得考虑（比如，TENSTAND WP2 中 ASCII 数据集的产生）。因此用到了弹性范围内精确度有限的 1 类伸长仪（通常为单面式），而确定应变比例伸长曲线弹性部分斜率 m_E 的目的是评估 $R_{p0.2}$ 以及其他属性，而不是为了确定弹性模量 E 的内部材料性质。如果采用本规范中明确规定的双面高分辨率 0, 5 级伸长仪，测量不确定度会降低，再现性会更好。

附录 H

(资料性附录)

断后伸长率低于 5%的测定方法

在测定小于 5%的断后伸长率时应加倍小心。

推荐的方法如下：

试验前在平行长度的两端处做一很小的标记。使用调节到标距的分规，分别以标记为圆心划一圆弧。拉断后，将断裂的试样置于一装置上，最好借助螺丝施加轴向力，以使其在测量时牢固地对接在一起。以最接近断裂的原圆心为圆心，以相同的半径划第二个圆弧。用工具显微镜或其他合适的仪器测量两个圆弧之间的距离即为断后伸长，准确到 $\pm 0.02\text{mm}$ 。为使划线清晰可见，试验前涂上一层染料。

注：另一种方法，可以采用 20.2 规定的引伸计方法。

附录 I

(资料性附录)

移位法测定断后伸长率

I.1 为了避免由于试样断裂位置不符合 20.1 所规定的条件而必须报废试样，可以使用如下方法：

- 试验前将试样原始标距细分为 5 mm（推荐）到 10 mm 的 N 等份；
- 试验后，以符号 X 表示断裂后试样短段的标距标记，以符号 Y 表示断裂试样长段的等分标记，此标记与断裂处的距离最接近于断裂处至标距标记 X 的距离。

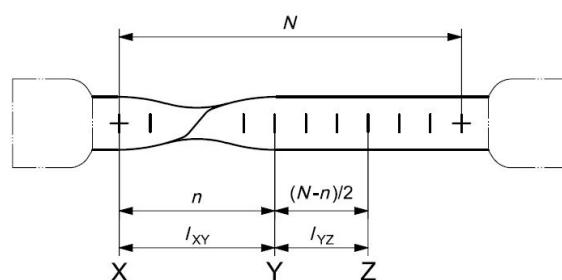
如 X 与 Y 之间的分格数为 n ，按如下测定断后伸长率：

- 如 $N - n$ 为偶数（见图 H.1 a），测量 X 与 Y 之间的距离 l_{XY} 和测量从 Y 至距离为 $(N - n) / 2$ 个分格的 Z 标记之间的距离 l_{YZ} 。按照式 H.1 计算断后伸长率：

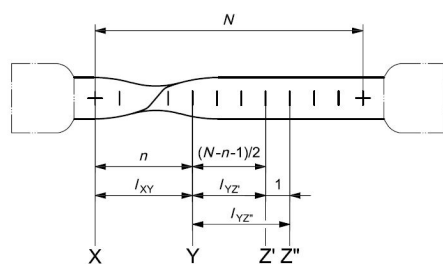
$$A = \frac{l_{XY} + 2l_{YZ} - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (I.1)$$

- 如 $N - n$ 为奇数（见图 H.1 b），测量 X 与 Y 之间的距离，和测量从 Y 至距离分别为 $(N - n - 1) / 2$ 和 $(N - n + 1) / 2$ 个分格的 Z' 和 Z'' 标记之间的距离 $l_{YZ'}$ 和 $l_{YZ''}$ 。按照式 (I.2) 计算断后伸长率：

$$A = \frac{l_{XY} + l_{YZ'} + l_{YZ''} - L_0}{L_0} \cdot 100 \quad (I.2)$$



a) $N - n$ 为偶数



b) $N - n$ 为奇数

图例：

n X 与 Y 之间的间隔数；

N 等分的份数；

X 试样较短部分的标距标记；

Y 试样较长部分的标距标记；

Z, Z', Z'' 分度标记

注：试样头部形状仅为示意性。

图 I.1 – 移位方法的图示说明

附录 J

(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_{wn} 的测定方法

本方法是测量已拉伸试验过的试样最长部分。

试验前，在标距上标出等分格标记，连续两个等分格标记之间的距离等于原始标距 L'_0 的约数。原始标距 L'_0 的标记应准确到 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 以内。断裂后，在试样的最长部分上测量断后标距 L'_u ，准确到 $\pm 0.5 \text{ mm}$ 。

为使测量有效，应满足以下条件：

a) 测量区的范围应处于距离断裂处至少 $5 d_0$ 和距离夹头至少为 $2.5 d_0$ ；

注：如果试样横截面为不规则图形， d_0 为不规则截面外接圆的直径。

b) 测量用的原始标距应至少等于产品标准中规定的值。

无缩颈塑性伸长率按下列式 (J.1) 计算：

$$A_{wn} = \frac{L'_u - L'_0}{L'_0} \cdot 100 \quad (\text{J.1})$$

注：对于许多材料，最大力发生在缩颈开始的范围。这意味着对于这些材料 A_g 和 A_{wn} 基本相等。但是，对于很大冷变形的材料诸如双面减薄的锡板、辐照过的结构钢或在高温下的试验 A_g 和 A_{wn} 之间有很大不同。

附录 K

(资料性附录)

测量不确定度的评定

K.1 总则

本附录为如何评定按照 ISO 6892 确定值的不确定度提供了指南。值得注意的是, 由于针对不确定度做出的陈述存在不依赖材料和依赖材料分配值的两种因素, 因此对本试验方法的不确定度做出确凿陈述是不可能的。ISO/IEC 指南 98-3^[4]是一部多达 90 页的综合文献, 建立在对不确定度采取严谨的统计方法归纳的基础上, 这些不确定度由各种原因引起。其复杂程度驱使诸多组织纷纷制定简化版本(参见 NIS 80^[15], NIS 3003^[16], 和参考文献【23】)。这些文献均就如何按照“不确定度概算”概念对不确定度测量进行预估提供了指导意见。如需获得更详细介绍, 请参考 EN 10291【11】和参考文献【24】。参考文献【25】和【26】提供了评定不确定度的更多信息。该测量不确定度并未描述由材料不一致造成的片段性概念, 比如来自某一批, 来自一份挤压型材或轧卷的前部以及末端, 或一件铸件内的不同位置。不确定度由不同试验、不同机器、或不同实验室一种理想的均值材料获得的数据片段造成。如下内容中, 给出了确定不确定度的指导以及不同的影响要素。

根据 ISO/IEC 指南 98-3^[4]的要求, 表 K.2 到 K.4 用到的再现性值间隔宽度为一半, 解释为加减(±)离散公差的值。

K.2 不确定度评定

K.2.1 总则

一个参数值的标准不确定度 u 有两种估值方法。

1) 当测量结果由一系列独立测量得到时, 标准不确定度 u 可按下式计算:

$$u = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (\text{K.1})$$

式中:

s 就是测量的标准差;

n 即正常情况下将观察结果的数量求平均数, 以报告测量结果。

K.2.3 B 型—源自其他来源, 比如 检验证书或公差

此处的真值同样很可能出现于定义区间内任何位置, 因此分布可描述为成直角分布或均匀分布。

2) 当测量结果由一个区间宽度 a 的均匀分布描述时, 标准不确定度 u 可按下式计算:

$$u = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (\text{K.2})$$

如果 a 是区间宽度的一半, 其中就包含数量。

通常对数量 y 的估算涉及其他量的测量。 Y 所含不确定度的估算需要考虑所有这些测量中不确定度的分布情况。这就是所谓的组合不确定度。如果估值只是简单的涉及一系列测量的加

$$u(y) = \sqrt{u(x_1)^2 + u(x_2)^2 + \dots + u(x_n)^2} \quad (\text{K.3})$$

其中 $u(x_1)$ 是参数 x_1 的不确定度，以此类推。

K.3 设备参数对试验结果的不确定度影响

一次拉伸试验所确定结果的不确定度包含由所用设备决定的构件。不同的试验结果，根据确定方式的不同，有着不同的不确定度分布情况。[表 K.1](#) 给出了一次拉伸试验中确定的一些常见材料属性应考虑的设备不确定度分配值。用较低的不确定度可以确定一些试验结果，比如上屈服强度 R_{eH} ，只取决于力度和横截面积策略的不确定度，而验证强度 R_p 则取决于力度、拉伸、标准长度、横截面积及其他参数。至于断面收缩率 Z ，需要考虑断裂前后横截面积的测量不确定性。

表 K.1 — 测量设备试验结果的不确定度分配值

参数	试验结果					
	R_{eH}	R_{eL}	R_m	R_p	A	Z
力	X	X	X	X	-	-
伸长	-	-	-	X	X	-
标准长度	-	-	-	X	X	-
S_0	X	X	X	X	-	X
S_u	-	-	-	-	-	X
X 相关						
— 不相关						

[表 K.1](#) 所列试验结果的不确定度可能来自于用来确定试验结果设备的检验证书。举个示例，用经验证不确定度为 1,4 % 的机器得出的力度参数标准不确定度值可能是 1,4/2 或 0,70%。要注意，1,0 级分类（用于拉伸试验机或伸长仪）并不会保证不确定度一定为 1%。不确定度可能远远高于或低于该值（就力度的示例而言，参见 7500-1），可以参考设备合格证书。鉴于设备的标定以及在不同环境条件下的使用情况，像设备惯性运转等因素造成的不确定度分配值也值得考虑。

就[公式 \(K.3\)](#) 所给出的那个示例而言 $\sqrt{\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0,70^2 + 0,58^2} = 0,91\%$ 的不确定度、试验结果 R_{eH} ， R_{eL} ， R_m 和 A 组合不确定度为 $\sqrt{\left(\frac{1,4}{2}\right)^2 + \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0,70^2 + 0,58^2} = 0,91\%$ ，并使用二乘法总值的平方根。

在估算 R_p 的确定度时，对来自测量设备分类的标准不确定度成分进行求和是不恰当的。应检验施力伸长关系曲线 比如说，如果在曲线上某个点，力度示值不会随着测量不确定度张力范围变化而变化，如果 R_p 是在该点的施力伸长关系曲线上确定的，应张力测量设备造成的力度示值的不确定度是微不足道的。另一方面，如果在曲线上某个点，力度会随着张力变化出现显著变化，而 R_p 是在该点的施力伸长关系曲线上确定的，报告力度的不确定度会比因设备分类造成的不确定度成分大得多。此外，如果该范围内曲线不是一条理想的直线，确

定应变比例伸长曲线 m_E 的弹性部分斜率会影响 R_p 的结果。

表 K.2—因测量设备造成的不同试验结果不确定度分配值的示例。

参数	不确定度分配值 ^a %				
	R_{eH}	R_{eL}	R_m	A	Z
力	1, 4	1, 4	1, 4	-	-
伸长	-	-	-	1, 4	-
标准长度、 L_e 、 L_o	-	-	-	1	-
S_0	1	1	1	-	X
S_u	-	-	-	-	2
a 给出的值仅供参考					

$$u_Z = \sqrt{\left(\frac{aS_0}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{aS_u}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right)^2 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^2} = \sqrt{0,577^2 + 1,155^2} = \sqrt{0,33 + 1,33} = 1,29 \quad (K.4)$$

表 K.3 给出了试验结果范围内采用相似方法求得组合标准不确定度的示例。

表 K.3—组合不确定度示例

不同参数的组合不确定度 %				
R_{eH}	R_{eL}	R_m	A	Z
0, 91	0, 91	0, 91	0, 91	1, 29

根据 ISO/IEC 指南 98-3, 【4】的规定, 用组合标准不确定度乘以覆盖函数 k 可得出总扩展不确定度。95%的置信水平, $k=2$ 。

表 K.4—置信水平为 95 %, $k=2$ (基于表 K.3) 的示例

置信水平为 95 %, $k=2$, 不同参数 %				
R_{eH}	R_{eL}	R_m	A	Z
1, 82	1, 82	1, 82	1, 82	2, 58

给出的计算式中只能增加同样单位的不确定度分配值。拉伸试验测量不确定度的更多信息以及详细信息请参考 CWA 15261-2^[9] 和参考文献【27】。

强烈建议进行有计划的周期性取样试验, 对同具体某种材料试验相关结果的标准差制图。随着时间推移, 来自抽样试验数据的结式标准差可以对试验数据不确定性是否在预期范围内提供很好的指示。

K.4 取决于材料以及/或试验步骤的参数

来自拉伸试验的试验结果精确度依赖于诸多因素, 同试验材料、试验机器、试验步骤和用来

计算具体材料属性的方法相关。理想情况下，应考虑如下所有因素：

- a) 试验温度；
- b) 试验速率；
- c) 试验件几何结构与加工；
- d) 试验件咬入方法以及力度应用的轴对称性；
- e) 试验机特征（刚度、驱动与控制模式）；
- f) 同确定拉伸属性相关的人为错误与软件错误；
- g) 安装伸长仪的几何结构。

这些因素的影响取决于具体材料特性，无法作为定义值给出。如果产生的影响是已知的，在计算不确定度时可以将其纳入考虑范畴内，如 [K.3](#) 所示。在评定较高的测量不确定度时可以考虑更多造成不确定度的原因。对此可以采用如下方式。

a) 用户必须找到所有其他可能存在的原因，对于待确定试验参数可能产生直接或间接的影响。

b) 根据试验材料和特殊试验条件的不同，相对分配值可能有所不同。我们鼓励个体实验室就可能造成不确定度的因素列一张表，并评定这些因素对结果的影响。如果确定了某项较大影响，计算中应包含不确定度 u_i 。不确定度 u_i 是造成值 i 存在不确定度的原因，该值为出现在 [公式 \(K.3\)](#) 中的一个百分数有待确定。要想得出 u_i ，需要找到特定参数（常量、长方形等）的分布函数。接下来需要确定对西格玛一级水平结果的影响。这是标准不确定度。

实验室间试验可用来确定结果的整体不确定度，所处的条件同用于工艺实验室的条件相同，但这些试验不会将与材料不均匀相关的效果同试验方法的影响因素相区分（参见附录 L）。在合适的有证参考材料可用的情况下，应提供估算测量不确定度行之有效的方法，用于任何给定的试验机器，包括夹具的影响、弯曲等，目前这些是很难量化的。有证参考材料的示例为 IRMM（见 CWA 15261-2 **【9】**）提供的 BCR-661（镍铬钛合金 75）。

与此同时，我们也建议出于质量控制的目的，对属性离散率较低的材料（无证参考材料）进行常规的“室内”试验（参见参考文献 **【28】**）。

有很多示例可以证明在无参考材料的情况下给出准确的不确定度值十分困难。在一些情况下，如果可靠的不确定度值很重要，建议采用有证参考材料或无证参考材料来确定测量不确定度。如果无可用的参考材料，需要采用合适的相互比较法（参见参考文献 **【21】** 和 **【30】**）。

附录 L

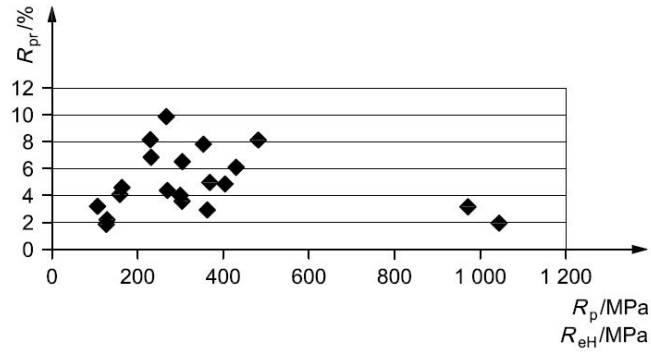
(资料性附录)

拉伸试验的精密性 — 根据实验室间试验方案的结果

在实验室间的比对实验中有迹象表明拉伸试验结果的分散性包括材料的分散和测量的不确定度，见表 L.1~L.4。试验结果的再现性用 2 倍各自参数，例如 R_p , R_m , Z 和 A 等参数的标准偏差除以各自的平均值得到。因此给出的这些参数结果的置信度按照 ISO/IEC 导则 98-3【4】为 95%，可以直接与用其他方法得到的扩展不确定度相比较。

表 L.1 – 屈服强度（0.2% 非比例延伸强度或上屈服强度）— 实验室间比对试验的再现性（图 L.1 给出了图形表达的数值）

材料	牌号	屈服强度 MPa	再现性 ± %	参考文献
铝				
薄板	AA5754	105,7	3,2	[31]
薄板	AA5182-O	126,4	1,9	[20]
薄板	AA6016-T4	127,2	2,2	[20]
	EC-H 19	158,4	4,1	[33]
	2024-T 351	362,9	3,0	[33]
钢				
薄板	DX56	162,0	4,6	[31]
低碳钢板	HR3	228,6	8,2	[34]
薄板	ZStE 180	267,1	9,9	[31]
AISI 105	P245GH	367,4	5,0	[34]
	C22	402,4	4,9	[33]
中厚板	S355	427,6	6,1	[31]
奥氏体不锈钢 S S	SS316L	230,7	6,9	[31]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNi18-10	303,8	6,5	[34]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNiMo18-10	353,3	7,8	[34]
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	480,1	8,1	[33]
马氏体不锈钢	X12Cr13	967,5	3,2	[33]
高强钢	30NiCrMo16	1 039,9	2,0	[34]
镍基合金				
INCONEL 600	NiCr15Fe8	268,3	4,4	[33]
Nimonic 75	(BCR-661)	298,1	4,0	[29]
Nimonic 75	(BCR-661)	302,1	3,6	[31]



图例：

R_{eH} 上屈服强度

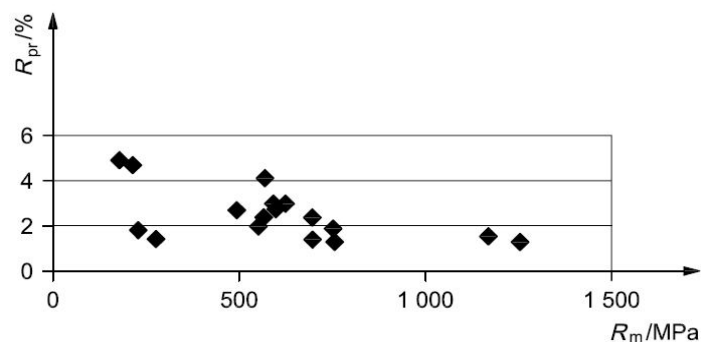
R_p 非比例延伸强度

R_{pr} 再现性

图 L.1 表 L.1 给出数据的图形表达

表 L.2 –抗拉强度 R_m —实验室间比对试验的再现性（图 L.2 给出了图形表达的数值）

材料	牌号	屈服强度 MPa	再现性 ± %	参考文献
铝				
薄板	AA5754	212,3	4,7	[31]
薄板	AA5182-O	275,2	1,4	[20]
薄板	AA6016-T4	228,3	1,8	[20]
	EC-H 19	176,9	4,9	[33]
	2024-T 351	491,3	2,7	[33]
钢				
薄板	DX56	301,1	5,0	[31]
低碳钢板	HR3	335,2	5,0	[34]
薄板	ZStE 180	315,3	4,2	[31]
AISI 105	Fe510C	552,4	2,0	[34]
	C22	596,9	2,8	[33]
中厚板	S355	564,9	2,4	[31]
奥氏体不锈钢 S S	SS316L	568,7	4,1	[31]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNi18-10	594,0	3,0	[34]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNiMo18-10	622,5	3,0	[34]
AISI 316	X7CrNiMo17-12-2	694,6	2,4	[33]
马氏体不锈钢	X12Cr13	1 253,0	1,3	[33]
高强度钢	30NiCrMo16	1 167,8	1,5	[34]
镍基合金				
INCONEL 600	NiCr15Fe8	695,9	1,4	[33]
Nimonic 75	(BCR-661)	749,6	1,9	[29]
Nimonic 75	(BCR-661)	754,2	1,3	[31]



图例：

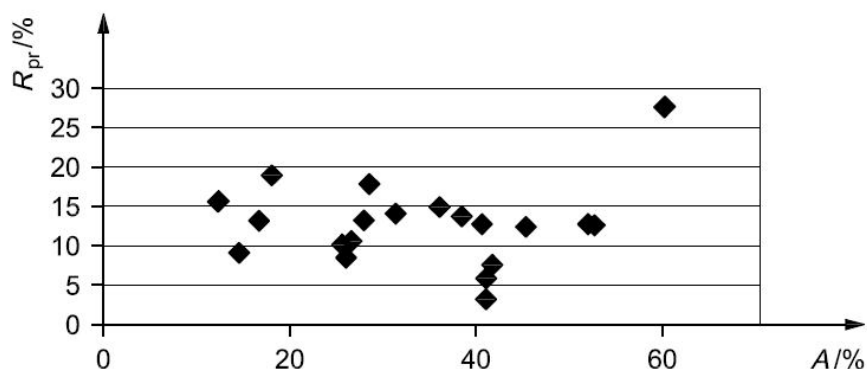
R_m 抗拉强度

R_{pr} 再现性

图 L.2 表 L.2 给出数据的图形表达

表 L.3—断后伸长率—实验室间比对试验的再现性（图 L.3 给出了图形表达的数值）

材料	牌号	断后伸长率, A %	再现性 \pm % ^a	参考文献
铝				
薄板	AA5754	27,9	13,3	[31]
薄板	AA5182-O	26,6 (A80 mm)	10,6	[20]
薄板	AA6016-T4	25,9 (A80 mm)	8,4	[20]
	EC-H 19	14,6	9,1	[33]
	2024-T 351	18,0	18,9 ^a	[33]
钢				
薄板	DX56	45,2	12,4	[31]
低碳钢板	HR3	38,4	13,8	[34]
薄板	ZStE 180	40,5	12,7	[31]
AISI 105	Fe510C	31,4	14,0	[34]
	C22	25,6	10,1	[33]
中厚板	S355	28,5	17,7	[31]
奥氏体不锈钢 S S	SS316L	60,1	27,6	[31]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNi18-10	52,5	12,6	[34]
奥氏体不锈钢 S S	X2CrNiMo18-10	51,9	12,7	[34]
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	35,9	14,9	[33]
马氏体不锈钢	X12Cr13	12,4	15,5	[33]
高强钢	30NiCrMo16	16,7	13,3	[34]
镍基合金				
INCONEL 600	NiCr15Fe8	41,6	7,7	[33]
Nimonic 75	(BCR-661)	41,0	3,3	[29]
Nimonic 75	(BCR-661)	41,0	5,9	[31]
^a 再现性用给定材料各自的平均值 A 的百分数来表达；对于 2024-T351 铝合金 A 的绝对值是 (18.0 ± 3.4) %				



图例:

A 断后伸长率

R_{pr} 再现性

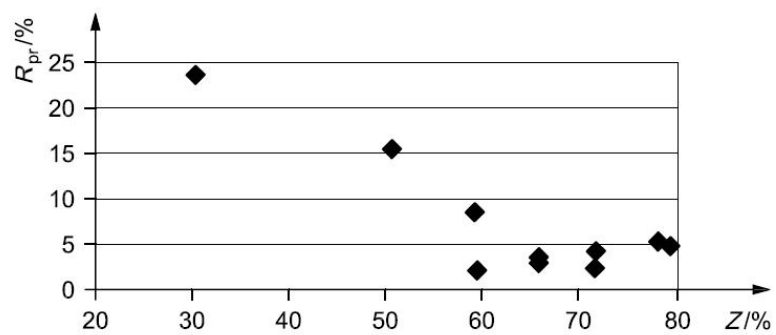
图 L.3 表 L.3 给出数据的图形表达

表 L.4—断面收缩率 Z—实验室间比对试验的再现性 (图 L.4 给出了图形表达的数值)

材料	牌号	断面收缩率, Z %	再现性 % ^a	参考文献
铝				
	EC-H 19	79,1	5,1	[33]
	2024-T 351	30,3	23,7 ^b	[33]
钢				
低碳钢板	HR3			
AISI 105	Fe510C	71,4	2,7	[34]
	C22	65,6	3,8	[33]
奥氏体不锈钢	X2CrNi18-10			
奥氏体不锈钢	X2CrNiMo18-10	77,9	5,6	[34]
AISI 316	X5CrNiMo17-12-2	71,5	4,5	[33]
马氏体不锈钢	X12Cr13	50,5	15,6 ^b	[33]
高强度钢	30NiCrMo16	65,6	3,2	[34]
镍基合金				
INCONEL 600	NiCr15Fe8	59,3	2,4	[33]
Nimonic 75	(BCR-661)	59,0	8,8	[29]

^a 再现性用给定材料各自的平均值 Z 的百分数来表达; 对于 2024-T 351 铝合金 Z 的绝对值是 (30.3±7.2) %。

^b 某些再现性值似乎相当高; 这可能是因为对于断裂的缩颈区准确地测量试样尺寸有相当的难度。对于薄板试样厚度的测量不确定度可能会很大。同样对于试样缩颈区域的直径或厚度高度地依赖于操作者的经验和试验技巧。



图例：

R_{pr} 再现性

Z 断面收缩率

图 L.4 表 L.4 给出数据的图形表达

参考文献

- [1] ISO 3183, Petroleum and natural gas industries — Steel pipe for pipeline transportation systems
- [2] ISO 11960, Petroleum and natural gas industries — Steel pipes for use as casing or tubing for wells
- [3] ISO/TR 25679, Mechanical testing of metals — Symbols and definitions in published standards
- [4] ISO/IEC Guide 98-3, Uncertainty of measurement — Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)
- [5] ISO/TTA 2, Tensile tests for discontinuously reinforced metal matrix composites at ambient temperatures
- [6] ASTM A370, Standard test methods and definitions for mechanical testing of steel products
- [7] ASTM E8M, Standard test methods for tension testing of metallic materials
- [8] ASTM E1012, Standard practice for verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application
- [9] CWA 15261-2:2005, Measurement uncertainties in mechanical tests on metallic materialsThe evaluation of uncertainties in tensile testing
- [10] DIN 50125, Testing of metallic materials — Tensile test pieces
- [11] EN 10291, Metallic materials — Uniaxial creep testing in tension — Methods of test
- [12] GB/T 228, Metallic materials — Tensile testing at ambient temperature
- [13] IACS W2. Test specimens and mechanical testing procedures for materials. In: Requirements concerning materials and welding, pp. W2-1 to W2-10. International Association of Classification Societies, London, 2003. Available (2008-06-26) at: <http://www.iacs.org.uk/document/public/publications/unifiedrequirements/pdf/urwpdf159.pdf>
- [14] JIS Z2241, Test pieces for tensile test for metallic materials
- [15] NIS 80:1994, Guide to the expression of uncertainty in testing
- [16] NIS 3003:1995. The expression of uncertainty and confidence in measurement

- [17] Dean G.D., Loveday M.S., Cooper P.M. READ, B.E., ROEBUCK.B. & MORRELL.R. Aspects of modulus measurement. In: Dyson, B.G., Loveday, M.S., Gee, M.G., editors. Materials metrology and standards for structural performance, pp. 150-209. Chapman & Hall, London, 1995
- [18] Roebuck B., Lord J.D., Cooper P.M., McCartney L.N. Data acquisition and analysis of tensile properties for metal matrix composites. J. Test. Eval. 1994, 22 (1) pp. 63-69
- [19] Sonne H.M., & Hesse B. B. Determination of Young's modulus on steel sheet by computerised tensile test — Comparison of different evaluation concepts. In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 1993. DVM, Berlin
- [20] Aegerter J., Keller S., Wieser D. Prüfvorschrift zur Durchführung und Auswertung des Zugversuches für Al-Werkstoffe [Test procedure for the accomplishment and evaluation of the tensile test for aluminium and aluminium alloys], In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 2003, pp. 139-150. Stahleisen, Düsseldorf
- [21] Rides M., & Lord J. TENSTAND final report: Computer-controlled tensile testing according to EN 10002-1: Results of a comparison test programme to validate a proposal for an amendment of the standard. National Physical Laboratory, Teddington, 2005
- [22] Lord J. Loveday, M.S., Rides, M., McEntaggart, I. TENSTAND WP2 final report: Digital tensile software evaluation: Computer-controlled tensile testing machines validation of European Standard EN10002-1. National Physical Laboratory, Teddington, 2005, p.
- [23] Taylor B.N., & Kuyatt C.E. Guidelines for evaluating and expressing the uncertainty of NIST measurement results. NIST, Gaithersburg, MD, 1994. 25 p. (NIST Technical Note 1297.) Available (2009-07-23) at: <http://physics.nist.gov/Pubs/guidelines/TN1297/tn1297s.pdf>
- [24] Loveday M.S. Room temperature tensile testing: A method for estimating uncertainty of measurement. National Physical Laboratory, Teddington, 1999. [Measurement note CMMT (MN) 048.] Available (2009-07-23) at: http://publications.npl.co.uk/nplweb/pdf/cmmt_mn48.pdf
- [25] Bell S.A. 1999) A beginner's guide to uncertainty of measurement, 2nd edition. National Physical Laboratory, Teddington, 2001. 41 p. (Measurement Good Practice

Guide, No. 11.) Available (2009-07-31) at: <http://publications.npl.co.uk/nplweb/pdf/mgpg11.pdf>

[26] Birch K. Estimating uncertainties in testing. National Physical Laboratory, Teddington, 2001. (Measurement Good Practice Guide, No. 36.) Available (2009-07-23) at: <http://publications.npl.co.uk/nplweb/pdf/mgpg36.pdf>

[27] Kandil F.A., Lord J.D., Bullough C.K., Georgsson P., Legendre L., Money G. The UNCERT manual of codes of practice for the determination of uncertainties in mechanical tests on metallic materials [CD-ROM]. EC, Brussels

[28] Sonne H.M., Knauf G., Schmidt-Zinges J. Überlegungen zur Überprüfung von Zugprüfmaschinen mittels Referenzmaterial [Considerations on the examination of course test equipment by means of reference material]. In: Proceedings of Werkstoffprüfung [Materials testing] 1996. Bad Nauheim. DVM, Berlin

[29] Ingelbrecht C.D., & Loveday M.S. The certification of ambient temperature tensile properties of a reference material for tensile testing according to EN 10002-1: CRM 661. EC, Brussels, 2000. (BCR Report EUR 19589 EN.)

[30] Li H.-P., & Zhou X. New Consideration on the uncertainty evaluation with measured values of steel sheet in tensile testing. In: Metallurgical analysis, 12th Annual Conference of Analysis Test of Chinese Society for Metals, 2004

[31] Klingelhofer H., Ledworuski S., Brookes S., May T. Computer controlled tensile testing according to EN 10002-1 — Results of a comparison test programme to validate a proposal for an amendment of the standard — Final report of the European project TENSTAND — Work Package 4. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 2005. 44 p. (Forschungsbericht [Technical report] 268.) Available (2008-07-01) at: http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/fb268_vt.pdf

[32] Loveday M.S., Gray T., Aegerter J. Tensile testing of metallic materials A review Final report of the TENSTAND project of work package 1. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, 2004

[33] ASTM Research Report E 28 1004:1994, Round robin results of interlaboratory tensile tests

[34] Roesch L., Coue N., Vitali J., di Fant M. Results of an interlaboratory test programme

on room temperature tensile properties — Standard deviation of the measured values.
(IRSID Report, NDT 93310.)

[35] Loveday M.S. Towards a tensile reference material. In: Loveday, M.S., Gibbons, T.B. Harmonisation of testing practice for high temperature materials. Elsevier, London, pp. 111-53.

[36] Johnson R.F., & Murray J.D. The effect of rate of straining on the 0.2 % proof stress and lower yield stress of steel. In: Proceedings of Symposium on High Temperature Performance of Steels, Eastbourne, 1966. Iron and Steel Institute, 1967

[37] Gray T.G.F., & Sharp J. Influence of machine type and strain rate interaction in tension

testing. In: Papirno, R., Weiss, H.C. Factors that affect the precision of mechanical tests. ASTM,

Philadelphia, PA. (Special Technical Publication 1025.)

[38] Aegerter J., Bloching H., Sonne H.-M. Influence of the testing speed on the yield/proof

strength — Tensile testing in compliance with EN 10002-1. Materialprüfung. 2001, 10 pp. 393-403

[39] Aegerter, J. Strain rate at a given point of a stress/strain curve in the tensile test [Internal memorandum], VAW Aluminium, Bonn, 2000

[40] Bloching H. Calculation of the necessary crosshead velocity in mm/min for achieving a specified stress rate in MPa/s. Zwick, Ulm, 2000, p. [Report]

[41] McEntegart I. & Lohr R.D. Mechanical testing machine criteria. In: Dyson, B.G., Loveday, M.S., Gee, M.G., editors. Materials metrology and standards for structural performance, pp. 19-33. Chapman & Hall, London, 1995

[42] AUSTIN. T., BULLOUGH, C., LEAL, D., GAGLIARDI, D. & LOVEDAY M., A Guide to the Development and Use of Standards Compliant Data Formats for Engineering Materials Test Data, CEN CWA 162002010:

ftp://ftp.cen.eu/CEN/Sectors/List/ICT/CWAs/CWA16200_2010_ELSSI.pdf

[43] SEP 1235, Determination of the modulus of elasticity on steels by tensile testing at room temperature, Stahl-Eisen-Prüfblatt (SEP) des Stahlinstituts VDEh, Düsseldorf

- [44] LORD J.D and ORKNEY L.P. Elevated Temperature Modulus Measurements Using the Impulse Excitation Technique (IET). NPL Measurement Note CMMT. MN, 2000, pp. 049.
- [45] LORD J D and MORRELL R, Measurement Good Practice Guide No. 98 Elastic Modulus Measurement, ISSN 1744-3911 (2006)
[http://resource.npl.co.uk/cgi-bin/download.pl?area=npl publications&path name=/npl web/pdf/mgpg98.pdf](http://resource.npl.co.uk/cgi-bin/download.pl?area=npl%20publications&path%20name=/npl%20web/pdf/mgpg98.pdf)
- [46] CARPENTER. M*, NUNN, J, Impulse Excitation Modulus measurements of Hardmetal Rods using custom software on a standard personal computer and microphone. Mater. Eval. 2012, 70 (7) pp. 863-871
- [47] GABAUER, W. The Determination of Uncertainties in Tensile Testing UNCERT COP 07: 2000
- [48] BULLOUGH C. K. The Determination of Uncertainties in Dynamic Young's Modulus UNCERT CoP 13:2000
- [49] LORD. J., RIDES, M. & LOVEDAY, M. Modulus Measurement Methods TENSTAND WP3 Final Report NPL REPORT DEPC MPE 016 Jan 2005. ISSN 1744-0262
- [50] UNWIN. W.C., The testing of materials of construction. Longmans, Green & Co, London, 1910, pp. 237-8.
- [51] LORD. J.D., ROEBUCK, B., ORKNEY, L.P., Validation of a draft tensile testing standard for discontinuously reinforced MMC, VAMAS Report No.20, National Physical Laboratory, May 1995
- [52] ASTM E 111, Standard Test Method for Young's Modulus, Tangent Modulus, and Chord Modulus
- [53] Aegerter J., Frenz H., Kuhn H.-J., Weissmuller C. ISO 6892-1:2009 Tensile Testing: Initial Experience from the Practical Implementation of the New Standard, Carl Hanser Verlag, Munchen, Vol. 53, (2011) 10, pp. 595-603, correction of Fig. 6 in Carl Hanser Verlag, Munchen, Vol. 53, (2011) 11
- [54] Weissmuller C. & Frenz H. Measurement Uncertainty for the Determination of Young's Modulus on Steel, Materials Testing, Carl Hanser Verlag, Munchen, 2013, Vol. 55 No. 9, pp. 643-647, available at:

<http://www.hanser-elibrary.com/doi/pdf/10.3139/120.110482>

[55] ISO 377, Steel and steel products — Location and preparation of samples and test pieces for mechanical testing

[56] ISO 2566-1, Steel — Conversion of elongation values — Part 1: Carbon and low alloy steels

[57] ISO 2566-2, Steel — Conversion of elongation values — Part 2: Austenitic steels

[58] ISO 80000-1, Quantities and units — Part 1: General
