

## 附录 G

(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 H  
(资料性附录)

移位法测定断后伸长率

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

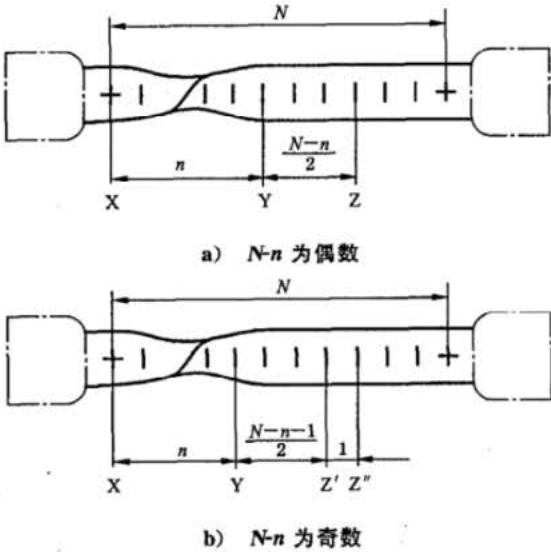
- a) 试验前将试样原始标距细分为 5 mm(推荐)到 10 mm 的  $N$  等份;
  - b) 试验后,以符号 X 表示断裂后试样短段的标距标记,以符号 Y 表示断裂试样长段的等分标记,此标记与断裂处的距离最接近于断裂处至标距标记 X 的距离。
- 如 X 与 Y 之间的分格数为  $n$ ,按如下测定断后伸长率:

1) 如  $N-n$  为偶数[见图 H.1a)],测量 X 与 Y 之间的距离  $l_{XY}$  和测量从 Y 至距离为  $\frac{N-n}{2}$  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:

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

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

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



说明:

- $n$  —— X 与 Y 之间的分格数;
- $N$  —— 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 H.1 移位方法的图示说明

附 录 I  
(资料性附录)

棒材、线材和条材等长产品的无缩颈塑性伸长率  $A_{wn}$  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  $L'$  的约数。原始标距  $L'$  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  $5d_0$  和距离夹头至少为  $2.5d_0$ ;

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(I.1)计算:

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

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 J

### (规范性附录)

#### 逐步逼近方法测定规定塑性延伸强度( $R_p$ )

##### J.1 范围

逐步逼近方法适用于具有无明显弹性直线段金属材料的塑性延伸强度的测定。对于力-延伸曲线图具有弹性直线段高度不低于  $0.5F_m$  的金属材料,其塑性延伸强度的测定亦适用。逐步逼近方法可应用于这种性能的拉伸试验自动化测试。

##### J.2 方法

根据力-延伸曲线图测定塑性延伸强度。

试验时,记录力-延伸曲线图,至少直至超过预期的塑性延伸强度的范围。在力-延伸曲线上任意估取  $A_0$  点拟为塑性延伸率等于  $0.2\%$  时的力  $F_{p0.2}^0$ ,在曲线上分别确定力为  $0.1F_{p0.2}^0$  和  $0.5F_{p0.2}^0$  的  $B_1$  和  $D_1$  两点,作直线  $B_1D_1$ 。从曲线原点  $O$ (必要时进行原点修正)起截取  $OC$  段( $OC=0.2\% \cdot L_e \cdot n$ ,式中  $n$  为延伸放大倍数),过  $C$  点作平行于  $B_1D_1$  的平行线  $CA_1$  交曲线于  $A_1$  点。如果  $A_1$  与  $A_0$  重合, $F_{p0.2}^0$  即为相应于塑性延伸率为  $0.2\%$  时的力。

如  $A_1$  点未与  $A_0$  点重合,需要按照上述步骤进行进一步逼近。此时,取  $A_1$  点的力  $F_{p0.2}^1$ ,在曲线上分别确定力为  $0.1F_{p0.2}^1$  和  $0.5F_{p0.2}^1$  的  $B_2$  和  $D_2$  两点,作直线  $B_2D_2$ 。过  $C$  点作平行于直线  $B_2D_2$  的平行线  $CA_2$  交曲线于  $A_2$  点,如此逐步逼近,直至最后一次得到的交点  $A_n$  与前一次的交点  $A_{n-1}$  重合(见图 J.1)。 $A_n$  的力即为塑性延伸率达  $0.2\%$  时的力。此力除以试样原始横截面积得到测定的塑性延伸强度  $R_{p0.2}$ 。

最终得到的直线  $B_nD_n$  的斜率,一般可以作为确定其他塑性延伸强度的基准斜率。

注:逐步逼近方法测定软铝等强度很低的材料的塑性延伸强度( $R_p$ )时显示出不适合性。

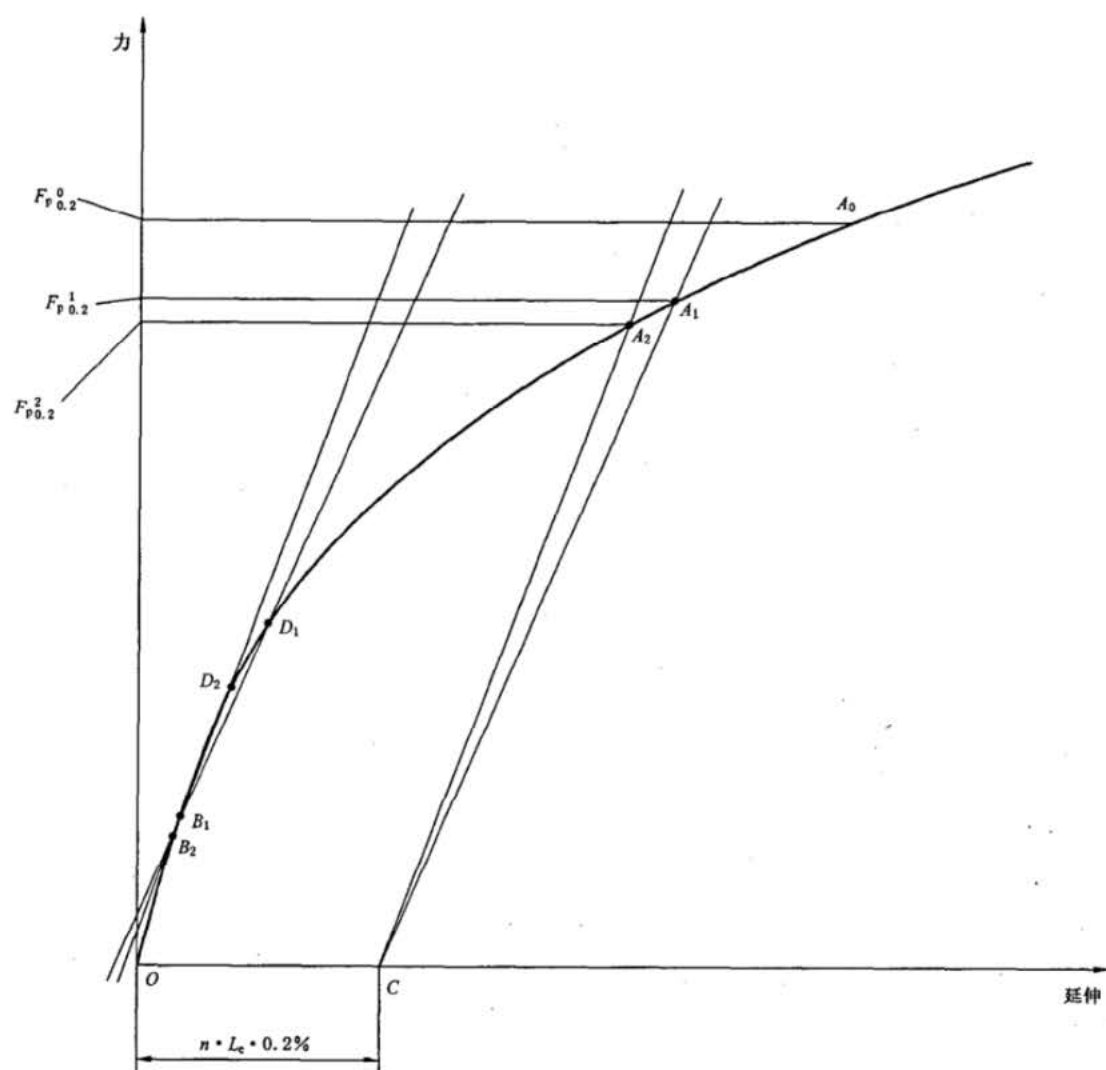


图 J.1 逐步逼近法测定塑性延伸强度

附录 K  
(资料性附录)

卸力方法测定规定残余延伸强度(R<sub>e0.2</sub>)举例

试验材料:钢,预期的规定残余延伸强度 R<sub>e0.2</sub>≈800 MPa;

试样尺寸:d=10.00 mm,S<sub>0</sub>=78.54 mm<sup>2</sup>;

引伸计:表式引伸计,1级准确度,L<sub>e</sub>=50 mm,每一分度值为 0.01 mm;

试验机:最大量程 200 kN,选用度盘为 100 kN;

试验速率:按照 10.3.2 的规定要求。

按照预期的规定残余延伸强度计算相应于应力值 5%的预拉力为:

$F_0 = R_{e0.2} \times S_0 \times 5\% = 6\,283.2\text{ N}$ ,化整后取 6 000 N。此时,引伸计的条件零点为 1 分度。

使用的引伸计标距为 50 mm,测定规定残余延伸强度 R<sub>e0.2</sub>所要达到的残余延伸应为:50×0.2%=0.1 mm。将其折合成引伸计的分度数为:0.1÷0.01=10 分度。

从 F<sub>0</sub>起第一次施加力直至试样在引伸计标距的长度上产生总延伸(相应于引伸计的分度数)应为:10+(1~2)=11 分度~12 分度,由于条件零点为 1 分度,总计为 13 分度,保持力 10 s~12 s后,将力降至 F<sub>0</sub>,引伸计读数为 2.3 分度,即残余延伸为 1.3 分度。

第二次施加力直至引伸计达到读数应为:在上一次读数 13 分度的基础上,加上规定残余延伸 10 分度与已得残余延伸 1.3 分度之差,再加上 1 分度~2 分度,即 13+(10-1.3)+2=23.7 分度。保持力 10 s~12 s,将力降至 F<sub>0</sub>后得到 7.3 分度的残余延伸读数。

第三次施加力直至引伸计达到的读数应为:23.7+(10-7.3)+1=27.4 分度。

试验直至残余延伸读数达到或稍微超过 10 分度为止,试验记录见表 K.1。

规定残余延伸强度 R<sub>e0.2</sub>计算如下:

由表 K.1 查出残余延伸读数最接近 10 分度的力值读数为 61 000 N,亦即测定的规定残余延伸力应在 61 000 N 和 62 000 N 之间。用线性内插法求得规定残余延伸力为:

$$F_{e0.2} = \frac{(10.5 - 10) \times 61\,000 + (10 - 9.7) \times 62\,000}{(10.5 - 9.7)} = 61\,375\text{ N}$$

得到:

$$R_{e0.2} = \frac{61\,375}{78.54} = 781.4\text{ MPa}$$

按照第 22 章要求,修约后结果为:R<sub>e0.2</sub>=781 MPa

表 K.1 力-残余延伸数据记录

| 力/N    | 施加力引伸计读数/分度 | 预拉力引伸计读数/分度 | 残余延伸/分度 |
|--------|-------------|-------------|---------|
| 6 000  | 1.0         | —           | —       |
| 41 000 | 13.0        | 2.3         | 1.3     |
| 57 000 | 23.7        | 8.3         | 7.3     |
| 61 000 | 27.4        | 10.7        | 9.7     |
| 62 000 | 28.7        | 11.5        | 10.5    |

附录 L  
(资料性附录)

拉伸试验测量结果不确定度的评定

L.1 拉伸试验测量结果不确定度的评定范例

评定低碳低合金钢以三个试样平均结果的抗拉强度和塑性指标的不确定度。  
使用 10 个试样,得到测量列,测量得到的结果见表 L.1。  
实验标准偏差按贝塞尔公式计算:

$$s_i = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$
 ..... ( L.1 )

式中:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$$

表 L.1 重复性试验测量结果

| 序号                        | 试样直径<br><i>d</i><br>mm | 抗拉强度<br><i>R<sub>m</sub></i><br>MPa | 下屈服强度<br><i>R<sub>eL</sub></i><br>MPa | 规定塑性<br>延伸强度<br><i>R<sub>p0.2</sub></i><br>MPa | 断后伸长率<br><i>A</i><br>% | 断面收缩率<br><i>Z</i><br>% |
|---------------------------|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1-1                       | 10.00                  | 767                                 | 450                                   | 450                                            | 22.5                   | 50                     |
| 1-2                       | 10.00                  | 767                                 | 448                                   | 449                                            | 21.0                   | 50                     |
| 1-3                       | 10.00                  | 771                                 | 452                                   | 453                                            | 22.0                   | 50                     |
| 1-4                       | 10.00                  | 769                                 | 452                                   | 452                                            | 22.0                   | 50                     |
| 1-5                       | 10.01                  | 763                                 | 448                                   | 450                                            | 22.5                   | 52                     |
| 1-6                       | 10.00                  | 770                                 | 444                                   | 447                                            | 22.5                   | 53                     |
| 1-7                       | 9.99                   | 767                                 | 447                                   | 451                                            | 21.5                   | 50                     |
| 1-8                       | 9.99                   | 766                                 | 445                                   | 445                                            | 22.0                   | 51                     |
| 1-9                       | 9.99                   | 760                                 | 444                                   | 446                                            | 21.5                   | 50                     |
| 1-10                      | 10.00                  | 770                                 | 446                                   | 447                                            | 22.0                   | 48                     |
| 平均值                       |                        | 767                                 | 447.6                                 | 449                                            | 21.95                  | 50.4                   |
| 标准偏差 <i>s<sub>i</sub></i> |                        | 3.399                               | 2.989                                 | 2.667                                          | 0.497                  | 1.350                  |
| 相对标准偏差                    |                        | 0.443%                              | 0.668%                                | 0.594%                                         | 2.264%                 | 2.679%                 |

L.2 抗拉强度不确定度的评定

数学模型

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \dots\dots\dots (L.2)$$

$$u_{\text{crel}}(R_m) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(F_m) + u_{\text{rel}}^2(S_0) + u_{\text{rel}}^2(\text{rep}) + u_{\text{rel}}^2(R_{mv})} \dots\dots\dots (L.3)$$

式中:

$R_m$  ——抗拉强度;

$F_m$  ——最大力;

$S_0$  ——原始横截面积;

rep ——重复性;

$R_{mv}$  ——拉伸速率对抗拉强度的影响。

#### L.2.1 A类相对标准不确定度分项 $u_{\text{rel}}(\text{rep})$ 的评定

本例评定三个试样测量平均值的不确定度,故应除以 $\sqrt{3}$ 。

$$u_{\text{rel}}(\text{rep}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.443\%}{\sqrt{3}} = 0.256\% \dots\dots\dots (L.4)$$

#### L.2.2 最大力 $F_m$ 的 B类相对标准不确定度分项 $u_{\text{rel}}(F_m)$ 的评定

(1) 试验机测力系统示值误差带来的相对标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F_1)$

1.0 级的拉力试验机示值误差为  $\pm 1.0\%$ ,按均匀分布考虑  $k=\sqrt{3}$ ,则:

$$u_{\text{rel}}(F_1) = \frac{1.0\%}{\sqrt{3}} = 0.577\% \dots\dots\dots (L.5)$$

(2) 标准测力仪的相对标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F_2)$

使用 0.3 级的标准测力仪对试验机进行检定。重复性  $R=0.3\%$ 。可以看成重复性极限。则其相对标准不确定度为:

$$u_{\text{rel}}(F_2) = \frac{R}{2.83} = \frac{0.3\%}{2.83} = 0.106\% \dots\dots\dots (L.6)$$

(3) 计算机数据采集系统带来的相对标准不确定度  $u_{\text{rel}}(F_3)$

计算机数据采集系统所引入的 B类相对标准不确定度为  $0.2 \times 10^{-2}$ :

$$u_{\text{rel}}(F_3) = 0.2\% \dots\dots\dots (L.7)$$

(4) 最大力的相对标准不确定度分项  $u_{\text{rel}}(F_m)$

$$\begin{aligned} u_{\text{rel}}(F_m) &= \sqrt{u_{\text{rel}}^2(F_1) + u_{\text{rel}}^2(F_2) + u_{\text{rel}}^2(F_3)} \\ &= \sqrt{(0.577\%)^2 + (0.106\%)^2 + (0.2\%)^2} = 0.620\% \dots\dots\dots (L.8) \end{aligned}$$

#### L.2.3 原始横截面积 $S_0$ 的 B类相对标准不确定度分项 $u_{\text{rel}}(S_0)$ 的评定

测定原始横截面积时,测量每个尺寸应准确到  $\pm 0.5\%$ 。

$$S_0 = \frac{1}{4} \pi d^2$$

$$u_{\text{rel}}(d) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$$

$$u_{\text{rel}}(S_0) = 2 \cdot u_{\text{rel}}(d) = 2 \times 0.289\% = 0.578\%$$

#### L.2.4 拉伸速率影响带来的相对标准不确定度分项 $u_{\text{rel}}(R_{mv})$

试验得出,在拉伸速率变化范围内抗拉强度最大相差 10 MPa,所以拉伸速率对抗拉强度的影响为  $\pm 5$  MPa,按均匀分布考虑:



$$u(R_{mV}) = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.887 \dots\dots\dots (L.9)$$

$$u_{rel}(R_{mV}) = \frac{2.887}{767} = 0.376\% \dots\dots\dots (L.10)$$

L.2.5 抗拉强度的相对合成不确定度(表 L.2)

表 L.2 抗拉强度的相对标准不确定度分项汇总

| 标准不确定度分项          | 不确定度来源   | 相对标准不确定度 |
|-------------------|----------|----------|
| $u_{rel}(rep)$    | 测量重复性    | 0.256%   |
| $u_{rel}(F_m)$    | 最大力      | 0.620%   |
| $u_{rel}(S_o)$    | 试样原始横截面积 | 0.578%   |
| $u_{rel}(R_{mV})$ | 拉伸速率     | 0.376%   |

$$u_{crel}(R_m) = \sqrt{u_{rel}^2(rep) + u_{rel}^2(F_m) + u_{rel}^2(S_o) + u_{rel}^2(R_{mV})}$$
  
$$= \sqrt{(0.256\%)^2 + (0.620\%)^2 + (0.578\%)^2 + (0.376\%)^2} = 0.962\% \dots\dots\dots (L.11)$$

L.2.6 抗拉强度的相对扩展不确定度

取包含概率  $p=95\%$ ,按  $k=2$

$$U_{rel}(R_m) = k \cdot u_{crel}(R_m) \dots\dots\dots (L.12)$$

$$U_{rel}(R_m) = 2 \times 0.962\% = 1.9\% \dots\dots\dots (L.13)$$

L.3 下屈服强度不确定度的评定

数学模型  $R_{eL} = \frac{F_{eL}}{S_o}$

$$u_{crel}(R_{eL}) = \sqrt{u_{rel}^2(F_{eL}) + u_{rel}^2(S_o) + u_{rel}^2(rep) + u_{rel}^2(R_{eLV})} \dots\dots\dots (L.14)$$

- 式中:
- $R_{eL}$ ——下屈服强度;
  - $F_{eL}$ ——下屈服力;
  - $S_o$ ——原始横截面积;
  - rep——重复性;
  - $R_{eLV}$ ——拉伸速率对下屈服强度的影响。

L.3.1 A类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(rep)$  的评定

本例评定三个试样测量平均值的不确定度,故应除以 $\sqrt{3}$ 。

$$u_{rel}(rep) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.668\%}{\sqrt{3}} = 0.386\% \dots\dots\dots (L.15)$$

L.3.2 下屈服力  $F_{eL}$  的 B类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(F_{eL})$  的评定

下屈服力  $F_{eL}$  的相对标准不确定度分项  $u_{rel}(F_{eL})$  的评定与最大力  $F_m$  的相对标准不确定度分项  $u_{rel}(F_m)$  的评定步骤相同(评定过程见 L.2.2)。

$$u_{rel}(F_{eL}) = \sqrt{u_{rel}^2(F_1) + u_{rel}^2(F_2) + u_{rel}^2(F_3)} = 0.620\% \dots\dots\dots (L. 16)$$

L. 3.3 原始横截面积  $S_0$  的 B 类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(S_0)$  的评定

原始横截面积相对不确定度与 L. 2.3 相同：

$$u_{rel}(S_0) = 0.578\% \dots\dots\dots (L. 17)$$

L. 3.4 拉伸速率影响带来的相对标准不确定度分项  $u_{rel}(R_{eLV})$  的评定

试验得出，在拉伸速率变化范围内下屈服强度最大相差 10 MPa，所以拉伸速率对下屈服强度的影响为±5 MPa，按均匀分布考虑：

$$u(R_{eLV}) = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.887 \dots\dots\dots (L. 18)$$

$$u_{rel}(R_{eLV}) = \frac{2.887}{447.6} = 0.645\% \dots\dots\dots (L. 19)$$

L. 3.5 下屈服强度的相对合成不确定度

下屈服强度的相对标准不确定度分项汇总见表 L. 3。

表 L. 3 下屈服强度的相对标准不确定度分项汇总

| 标准不确定度分项           | 不确定度来源   | 相对标准不确定度 |
|--------------------|----------|----------|
| $u_{rel}(rep)$     | 测量重复性    | 0.386%   |
| $u_{rel}(F_{eL})$  | 下屈服力     | 0.620%   |
| $u_{rel}(S_0)$     | 试样原始横截面积 | 0.578%   |
| $u_{rel}(R_{eLV})$ | 拉伸速率     | 0.645%   |

$$u_{crel}(R_{eL}) = \sqrt{u_{rel}^2(rep) + u_{rel}^2(F_{eL}) + u_{rel}^2(S_0) + u_{rel}^2(R_{eLV})}$$
$$= \sqrt{(0.386\%)^2 + (0.620\%)^2 + (0.578\%)^2 + (0.645\%)^2} = 1.133\% \dots\dots\dots (L. 20)$$

L. 3.6 下屈服强度的相对扩展不确定度

取包含概率  $p=95\%$ ，按  $k=2$

相对扩展不确定度  $U_{rel}(R_{eL}) = k \times u_{crel}(R_{eL}) \dots\dots\dots (L. 21)$

$U_{rel}(R_{eL}) = 2 \times 1.133\% = 2.3\% \dots\dots\dots (L. 22)$

L. 4 规定塑性延伸强度不确定度的评定

数学模型

$$R_p = \frac{F_p}{S_0}$$

$$u_{crel}(R_p) = \sqrt{u_{rel}^2(F_p) + u_{rel}^2(S_0) + u_{rel}^2(rep) + u_{rel}^2(R_{pV})} \dots\dots\dots (L. 23)$$

式中：

$R_p$  ——规定塑性延伸强度；

$F_p$  ——规定塑性延伸力；

$S_0$ ——原始横截面积;  
 $rep$ ——重复性;  
 $R_{pV}$ ——拉伸速率对规定塑性延伸强度的影响。

L. 4. 1 A类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(rep)$  的评定

本例评定三个试样测量平均值的不确定度,故应除以 $\sqrt{3}$ 。

$$u_{rel}(rep) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{0.594\%}{\sqrt{3}} = 0.343\% \dots\dots\dots (L. 24)$$

L. 4. 2 规定塑性延伸力  $F_p$  的 B类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(F_p)$  的评定

规定塑性延伸力是按如下方法得到的:在力-延伸曲线图上,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的距离等效于规定塑性延伸率 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。

由于无法得到力-延伸曲线的数学表达式,我们不能准确地得到引伸计测量应变的相对标准不确定度  $u_{rel}(\Delta L_e)$  与力值的相对标准不确定度  $u_{rel}(F_e)$  之间的关系。为得到两者之间的近似关系,通过交截点与曲线作切线,与延伸轴的交角为  $\alpha$ 。则引伸计测量应变的相对标准不确定度  $u_{rel}(\Delta L_e)$  与引伸计对力值带来的相对标准不确定度  $u_{rel}(F_e)$  近似符合下式:

$$u_{rel}(F_e) = \tan\alpha \cdot u_{rel}(\Delta L_e) \dots\dots\dots (L. 25)$$

1 级引伸计的相对误差为  $\pm 1\%$ ,按均匀分布考虑。

则 
$$u_{rel}(\Delta L_e) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.577\% \dots\dots\dots (L. 26)$$

在实际操作中  $\alpha$  角与坐标轴的比例有关,  $\tan\alpha = \frac{\Delta F}{\Delta L}$ ,本例中在交截点  $\frac{\Delta F}{\Delta L} \approx 0$ 。

则 
$$u_{rel}(F_e) = \frac{\Delta F}{\Delta L} \cdot u_{rel}(\Delta L_e) \approx 0$$

$$u_{rel}(F_p) = \sqrt{u_{rel}^2(F_1) + u_{rel}^2(F_2) + u_{rel}^2(F_3) + u_{rel}^2(F_e)} = 0.620\% \dots\dots\dots (L. 27)$$

L. 4. 3 原始横截面积  $S_0$  的 B类相对标准不确定度分项  $u_{rel}(S_0)$  的评定

原始横截面积相对不确定度与 L. 2. 3 相同:

$$u_{rel}(S_0) = 0.578\% \dots\dots\dots (L. 28)$$

L. 4. 4 拉伸速率影响带来的相对标准不确定度分项  $u_{rel}(R_{pV})$  的评定

试验得出,在拉伸速率变化范围内规定塑性延伸强度最大相差 10 MPa,所以拉伸速率对规定塑性延伸强度的影响为  $\pm 5$  MPa,按均匀分布考虑:

$$u(R_{pV}) = \frac{5}{\sqrt{3}} = 2.887 \dots\dots\dots (L. 29)$$

$$u_{rel}(R_{pV}) = \frac{2.887}{449} = 0.643\% \dots\dots\dots (L. 30)$$

L. 4. 5 规定塑性延伸强度的相对合成不确定度(表 L. 4)

表 L. 4 规定塑性延伸强度的相对标准不确定度分项汇总

| 标准不确定度分项       | 不确定度来源 | 相对标准不确定度 |
|----------------|--------|----------|
| $u_{rel}(rep)$ | 测量重复性  | 0.343%   |

表 L.4 (续)

| 标准不确定度分项                 | 不确定度来源   | 相对标准不确定度 |
|--------------------------|----------|----------|
| $u_{\text{rel}}(F_p)$    | 规定塑性延伸力  | 0.620%   |
| $u_{\text{rel}}(S_0)$    | 试样原始横截面积 | 0.578%   |
| $u_{\text{rel}}(R_{pV})$ | 拉伸速率     | 0.643%   |

相对合成不确定度:

$$u_{\text{crel}}(R_p) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(F_p) + u_{\text{rel}}^2(S_0) + u_{\text{rel}}^2(\text{rep}) + u_{\text{rel}}^2(R_{pV})}$$
$$= \sqrt{(0.343\%)^2 + (0.620\%)^2 + (0.578\%)^2 + (0.643\%)^2} = 1.12\% \quad \dots\dots\dots (\text{L.31})$$

L.4.6 规定塑性延伸强度的相对扩展不确定度

取包含概率  $p=95\%$ , 按  $k=2$

相对扩展不确定度  $U_{\text{rel}}(R_p) = k \times u_{\text{crel}}(R_p) = 2 \times 1.12\% = 2.2\% \quad \dots\dots\dots (\text{L.32})$

L.5 断后伸长率不确定度的评定

数学模型

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \quad \dots\dots\dots (\text{L.33})$$

式中:

$A$ ——断后伸长率;

$L_0$ ——原始标距;

$L_u$ ——断后标距。

断后伸长  $(L_u - L_0)$  的测量应准确到  $\pm 0.25 \text{ mm}$ 。在评定测量不确定度时公式应表达为:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} = \frac{\Delta L}{L_0} \quad \dots\dots\dots (\text{L.34})$$

$\Delta L$  与  $L_0$  彼此不相关, 则:

$$u_{\text{rel}}(A) = \sqrt{u_{\text{rel}}^2(L_0) + u_{\text{rel}}^2(\Delta L) + u_{\text{rel}}^2(\text{rep}) + u_{\text{rel}}^2(\text{off})} \quad \dots\dots\dots (\text{L.35})$$

L.5.1 A类相对标准不确定度分项  $u_{\text{rel}}(\text{rep})$  的评定

本例评定三个试样测量平均值的不确定度, 故应除以  $\sqrt{3}$ 。

$$u_{\text{rel}}(\text{rep}) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{2.264\%}{\sqrt{3}} = 1.307\% \quad \dots\dots\dots (\text{L.36})$$

L.5.2 原始标距的 B类相对标准不确定度分项  $u_{\text{rel}}(L_0)$  的评定

根据标准规定, 原始标距的标记  $L_0$  应准确到  $\pm 1\%$ 。按均匀分布考虑  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_{\text{rel}}(L_0) = \frac{1\%}{\sqrt{3}} = 0.577\% \quad \dots\dots\dots (\text{L.37})$$

L.5.3 断后伸长的 B类相对标准不确定度分项  $u_{\text{rel}}(\Delta L)$  的评定

$(L_u - L_0)$  的测量应准确到  $\pm 0.25 \text{ mm}$ 。本试验的平均伸长为  $10.975 \text{ mm}$ , 按均匀分布考虑  $k=\sqrt{3}$ , 则:

$$u_{\text{rel}}(\Delta L) = \frac{0.25}{10.975 \times \sqrt{3}} = 1.315\% \dots\dots\dots (L. 38)$$

L. 5.4 修约带来的相对标准不确定度分项  $u_{\text{rel}}(\text{off})$

断后伸长率的修约间隔为 0.5%。按均匀分布考虑,修约带来的相对标准不确定度分项:

$$u_{\text{rel}}(\text{off}) = \frac{0.5\%}{2 \cdot \sqrt{3} \cdot 21.95\%} = 0.658\% \dots\dots\dots (L. 39)$$

L. 5.5 断后伸长率的相对合成不确定度(表 L. 5)

表 L. 5 断后伸长率的标准不确定度分项汇总

| 标准不确定度分项                     | 不确定度来源 | 相对标准不确定度 | 平均值                                       |
|------------------------------|--------|----------|-------------------------------------------|
| $u_{\text{rel}}(\text{rep})$ | 测量重复性  | 1.307%   | 21.95%                                    |
| $u_{\text{rel}}(L_0)$        | 试样原始标距 | 0.577%   | $\overline{L_0} = 50 \text{ mm}$          |
| $u_{\text{rel}}(\Delta L)$   | 断后伸长   | 1.315%   | $\overline{\Delta L} = 10.975 \text{ mm}$ |
| $u_{\text{rel}}(\text{off})$ | 修约     | 0.658%   |                                           |

相对合成不确定度:

$$\begin{aligned} u_{\text{crel}}(A) &= \sqrt{u_{\text{rel}}^2(L_0) + u_{\text{rel}}^2(\Delta L) + u_{\text{rel}}^2(\text{rep}) + u_{\text{rel}}^2(\text{off})} \dots\dots\dots (L. 40) \\ &= \sqrt{(0.577\%)^2 + (1.315\%)^2 + (1.307\%)^2 + (0.658\%)^2} \\ &= 2.05\% \end{aligned}$$

L. 5.6 断后伸长率的相对扩展不确定度

取包含概率  $p = 95\%$ , 按  $k = 2$

$$U_{\text{rel}}(A) = k \times u_{\text{crel}}(A) = 2 \times 2.05\% = 4.1\% \dots\dots\dots (L. 41)$$

L. 6 断面收缩率不确定度的评定

数学模型

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \dots\dots\dots (L. 42)$$

式中:

$Z$  ——断面收缩率;

$S_0$  ——原始横截面积;

$S_u$  ——断后最小横截面积。

公式中  $S_u$  不独立,与  $S_0$  相关性显著。近似按  $S_0$  与  $S_u$  相关系数为 1 考虑。符合下式关系:

$$\begin{aligned} u_c^2(y) &= \left[ \sum_{i=1}^N c_i u(x_i) \right]^2 = \left[ \sum_{i=1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2 \dots\dots\dots (L. 43) \\ u_c(S_0, S_u) &= \left| \frac{S_u}{S_0^2} \cdot u(S_0) - \frac{1}{S_0} \cdot u(S_u) \right| \end{aligned}$$

$$u_c(Z) = \sqrt{u_c^2(S_o, S_u) + u^2(rep) + u^2(off)}$$

L. 6.1 A 类标准不确定度分项  $u(rep)$  的评定

本例评定三个试样测量平均值的不确定度,故应除以 $\sqrt{3}$ 。

$$u(rep) = \frac{s}{\sqrt{3}} = \frac{1.350\%}{\sqrt{3}} = 0.779\% \dots\dots\dots (L. 44)$$

L. 6.2 原始横截面积的标准不确定度分项  $u(S_o)$  的评定

测量每个尺寸应准确到 $\pm 0.5\%$ 。

试样公称直径  $d = 10\text{ mm}$ ,  $S_o = \frac{1}{4}\pi d^2 = 78.54\text{ mm}^2$ 。

$$u_{rel}(d) = \frac{0.5\%}{\sqrt{3}} = 0.289\%$$
  
$$u_{rel}(S_o) = 2 \cdot u_{rel}(d) = 0.578\%$$
  
$$u(S_o) = 78.54 \times 0.578\% = 0.454\text{ mm}^2$$

L. 6.3 断裂后横截面积的标准不确定度分项  $u(S_u)$  的评定

标准中规定断裂后最小横截面积的测定应准确到 $\pm 2\%$ ,按均匀分布考虑:

$$u_{rel}(S_u) = \frac{2\%}{\sqrt{3}} = 1.155\% \dots\dots\dots (L. 45)$$

根据计算断后缩径处最小直径处横截面积平均为  $S_u = 38.96\text{ mm}^2$

$$u(S_u) = 38.96 \times 1.155\% = 0.450\text{ mm}^2 \dots\dots\dots (L. 46)$$

L. 6.4 修约带来的相对标准不确定度分项

根据本部分第 22 条中的规定,断面收缩率的修约间隔 1%,按均匀分布考虑,修约带来的标准不确定度分项:

$$u(off) = \frac{1\%}{2 \cdot \sqrt{3}} = 0.289\% \dots\dots\dots (L. 47)$$

L. 6.5 断面收缩率的相对合成不确定度

断面收缩率的标准不确定度分项汇总见表 L. 6。

表 L. 6 断面收缩率的标准不确定度分项汇总

| 标准不确定度分项 | 不确定度来源   | 标准不确定度                | 平均值                             |
|----------|----------|-----------------------|---------------------------------|
| $u(rep)$ | 测量重复性    | 0.758%                | $\bar{Z} = 50.4\%$              |
| $u(S_u)$ | 断裂后横截面积  | 0.457 mm <sup>2</sup> | $\bar{S}_u = 38.96\text{ mm}^2$ |
| $u(S_o)$ | 试样原始横截面积 | 0.454 mm <sup>2</sup> | $\bar{S}_o = 78.54\text{ mm}^2$ |
| $u(off)$ | 修约       | 0.289%                |                                 |

$$\begin{aligned}u_c(S_o, S_u) &= \left| \frac{S_u}{S_o^2} \cdot u(S_o) - \frac{1}{S_o} \cdot u(S_u) \right| \\&= \left| \frac{38.96}{78.54^2} \times 0.450 - \frac{0.457}{78.54} \right| = 0.298\% \dots\dots\dots (L. 48)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}u_c(Z) &= \sqrt{u_c^2(S_o, S_u) + u^2(\text{rep}) + u^2(\text{off})} \\&= \sqrt{(0.298\%)^2 + (0.758\%)^2 + (0.289\%)^2} = 0.861\% \dots (L. 49)\end{aligned}$$

L. 6. 6 断面收缩率的相对扩展不确定度

取包含概率  $p=95\%$ , 按  $k=2$

相对扩展不确定度  $U(Z) = k \times u_c(Z) = 2 \times 0.861\% = 1.7\% \dots\dots\dots (L. 50)$   
 $U_{\text{rel}}(Z) = 3.4\%$

L. 7 相对扩展不确定度结果汇总

相对扩展不确定度结果见表 L. 7。

表 L. 7 相对扩展不确定度结果汇总

| 抗拉强度<br>$U_{\text{rel}}(R_m)$ | 下屈服强度<br>$U_{\text{rel}}(R_{eL})$ | 规定塑性延伸强度<br>$U_{\text{rel}}(R_p)$ | 断后伸长率<br>$U_{\text{rel}}(A)$ | 断面收缩率<br>$U_{\text{rel}}(Z)$ |
|-------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1.9%                          | 2.3%                              | 2.2%                              | 4.1%                         | 3.4%                         |

附 录 M

(资料性附录)

拉伸试验的精密度的——根据实验室间试验方案的结果

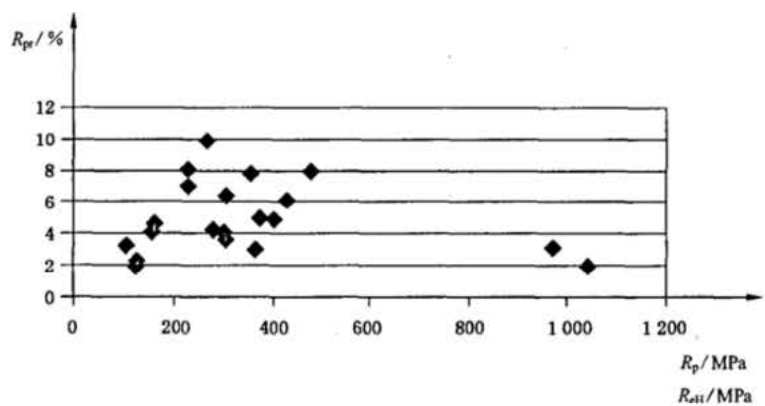
M.1 实验室间的分散

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 M.1～表 M.4。图 M.1～图 M.4 给出了表 M.1～表 M.4 中数值的图形表达。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 GUM 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 M.1 屈服强度 (0.2%塑性延伸强度或上屈服强度)——实验室间比对试验的再现性

| 材 料         | 牌 号             | 屈服强度<br>MPa | 再现性<br>% | 参考文献 |
|-------------|-----------------|-------------|----------|------|
| 铝板          | AA5754          | 105.7       | 3.2      | [4]  |
|             | AA5182-O        | 126.4       | 1.9      | [5]  |
|             | AA6016-T4       | 127.2       | 2.2      | [5]  |
|             | EC-H 19         | 158.4       | 4.1      | [6]  |
|             | 2024-T 351      | 362.9       | 3.0      | [6]  |
| 钢           |                 |             |          |      |
| 薄板          | DX56            | 162.0       | 4.6      | [4]  |
| 低碳钢板        | HR3             | 228.6       | 8.2      | [7]  |
| 薄板          | ZStE 180        | 267.1       | 9.9      | [4]  |
| AISI 105    | P245GH          | 367.4       | 5.0      | [7]  |
|             | C22             | 402.4       | 4.9      | [6]  |
| 中厚板         | S355            | 427.6       | 6.1      | [4]  |
| 奥氏体不锈钢      | SS316L          | 230.7       | 6.9      | [4]  |
|             | X2CrNi18-10     | 303.8       | 6.5      | [7]  |
|             | X2CrNiMo18-10   | 353.3       | 7.8      | [7]  |
| AISI 316    | X5CrNiMo17-12-2 | 480.1       | 8.1      | [6]  |
| 马氏体不锈钢      | X12Cr13         | 967.5       | 3.2      | [6]  |
| 高强钢         | 30NiCrMo16      | 1 039.9     | 2.0      | [7]  |
| 镍基合金        |                 |             |          |      |
| INCONEL 600 | NiCr15Fe8       | 268.3       | 4.4      | [6]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 298.1       | 4.0      | [8]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 302.1       | 3.6      | [4]  |



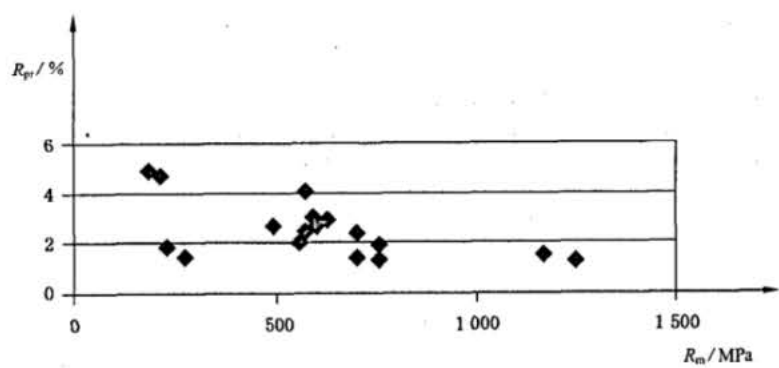


说明：  
 $R_{m1}$ ——上屈服强度；  
 $R_p$ ——塑性延伸强度；  
 $R_{pr}$ ——再现性。

图 M.1 表 M.1 给出数据的图形表达

表 M.2 抗拉强度  $R_m$ ——实验室间比对试验的再现性

| 材 料         | 牌 号             | 抗拉强度<br>MPa | 再现性<br>% | 参考文献 |
|-------------|-----------------|-------------|----------|------|
| 铝板          | AA5754          | 212.3       | 4.7      | [4]  |
|             | AA5182-0        | 275.2       | 1.4      | [5]  |
|             | AA6016-T4       | 228.3       | 1.8      | [5]  |
|             | EC-H 19         | 176.9       | 4.9      | [6]  |
|             | 2024-T 351      | 491.3       | 2.7      | [6]  |
| 钢           |                 |             |          |      |
| 薄板          | DX56            | 301.1       | 5.0      | [4]  |
| 低碳钢板        | HR3             | 335.2       | 5.0      | [7]  |
| 薄板          | ZStE 180        | 315.3       | 4.2      | [4]  |
| AISI 105    | Fe510C          | 552.4       | 2.0      | [7]  |
| 中厚板         | C22             | 596.9       | 2.8      | [6]  |
|             | S355            | 564.9       | 2.4      | [4]  |
| 奥氏体不锈钢      | SS316L          | 568.7       | 4.1      | [4]  |
|             | X2CrNi18-10     | 594.0       | 3.0      | [7]  |
|             | X2CrNiMo18-10   | 622.5       | 3.0      | [7]  |
| AISI 316    | X7CrNiMo17-12-2 | 694.6       | 2.4      | [6]  |
| 马氏体不锈钢      | X12Cr13         | 1 253.0     | 1.3      | [6]  |
| 高强钢         | 30NiCrMo16      | 1 167.8     | 1.5      | [7]  |
| 镍基合金        |                 |             |          |      |
| INCONEL 600 | NiCr15Fe8       | 695.9       | 1.4      | [6]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 749.6       | 1.9      | [8]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 754.2       | 1.3      | [4]  |



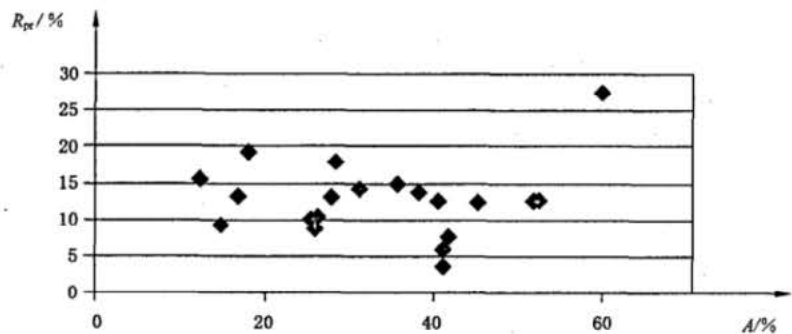
说明：  
 $R_m$ ——抗拉强度；  
 $R_{pr}$ ——再现性。

图 M.2 表 M.2 给出数据的图形表达

表 M.3 断后伸长率——实验室间比对试验的再现性

| 材 料         | 牌 号             | 断后伸长率 A<br>%              | 再现性*<br>% | 参考文献 |
|-------------|-----------------|---------------------------|-----------|------|
| 铝板          | AA5754          | 27.9                      | 13.3      | [4]  |
|             | AA5182-0        | 26.6(A <sub>80 mm</sub> ) | 10.6      | [5]  |
|             | AA6016-T4       | 25.9(A <sub>80 mm</sub> ) | 8.4       | [5]  |
|             | EC-H 19         | 14.6                      | 9.1       | [6]  |
|             | 2024-T 351      | 18.0                      | 18.9      | [6]  |
| 钢           |                 |                           |           |      |
| 薄板          | DX56            | 45.2                      | 12.4      | [4]  |
| 低碳钢板        | HR3             | 38.4                      | 13.8      | [7]  |
| 薄板          | ZstE 180        | 40.5                      | 12.7      | [4]  |
| AISI 105    | Fe510C          | 31.4                      | 14.0      | [7]  |
| 中厚板         | C22             | 25.6                      | 10.1      | [6]  |
|             | S355            | 28.5                      | 17.7      | [4]  |
| 奥氏体不锈钢      | SS316L          | 60.1                      | 27.6      | [4]  |
| 奥氏体不锈钢      | X2CrNi18-10     | 52.5                      | 12.6      | [7]  |
| 奥氏体不锈钢      | X2CrNiMo18-10   | 51.9                      | 12.7      | [7]  |
| AISI 316    | X5CrNiMo17-12-2 | 35.9                      | 14.9      | [6]  |
| 马氏体不锈钢      | X12Cr13         | 12.4                      | 15.5      | [6]  |
| 高强度钢        | 30NiCrMo16      | 16.7                      | 13.3      | [7]  |
| 镍基合金        |                 |                           |           |      |
| INCONEL 600 | NiCr15Fe8       | 41.6                      | 7.7       | [6]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 41.0                      | 3.3       | [8]  |
| Nimonic 75  | (BCR-661)       | 41.0                      | 5.9       | [4]  |

\* 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)%。

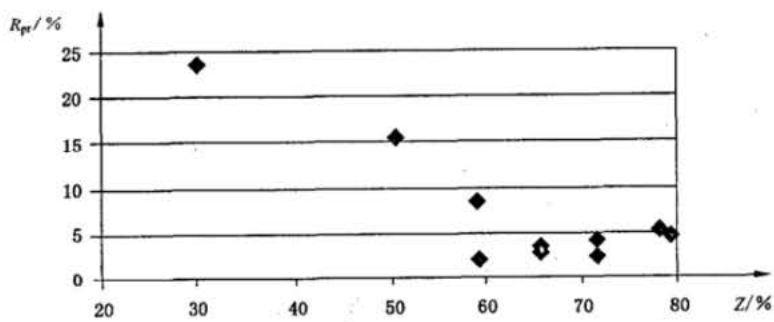


说明：  
A ——断后伸长率；  
R<sub>pr</sub>——再现性。

图 M.3 表 M.3 给出数据的图形表达

表 M.4 断面收缩率 Z——实验室间比对试验的再现性

| 材 料                                                                                                                                                                                            | 牌 号           | 断面收缩率 Z<br>% | 再现性 <sup>a</sup><br>% | 参考文献 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------|------|
| 铝                                                                                                                                                                                              | EC-H 19       | 79.1         | 5.1                   | [6]  |
|                                                                                                                                                                                                | 2024-T 351    | 30.3         | 23.7 <sup>b</sup>     | [6]  |
| 钢                                                                                                                                                                                              |               |              |                       |      |
| 低碳钢板                                                                                                                                                                                           | HR3           |              |                       |      |
| AISI 105                                                                                                                                                                                       | Fe510C        | 71.4         | 2.7                   | [7]  |
|                                                                                                                                                                                                | C22           | 65.6         | 3.8                   | [6]  |
| 奥氏体不锈钢                                                                                                                                                                                         | X2CrNi18-10   |              |                       |      |
| 奥氏体不锈钢                                                                                                                                                                                         | X2CrNiMo18-10 | 77.9         | 5.6                   | [7]  |
|                                                                                                                                                                                                | AISI 316      | 71.5         | 4.5                   | [6]  |
| 马氏体不锈钢                                                                                                                                                                                         | X12Cr13       | 50.5         | 15.6 <sup>b</sup>     | [6]  |
| 高强钢                                                                                                                                                                                            | 30NiCrMo16    | 65.6         | 3.2                   | [7]  |
| 镍基合金                                                                                                                                                                                           |               |              |                       |      |
| INCONEL 600                                                                                                                                                                                    | NiCr15Fe8     | 59.3         | 2.4                   | [6]  |
| Nimonic 75                                                                                                                                                                                     | (BCR-661)     | 59.0         | 8.8                   | [8]  |
| <sup>a</sup> 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-T351 铝合金 Z 的绝对值是(30.3 ± 7.2)%。<br><sup>b</sup> 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。 |               |              |                       |      |



说明：  
R<sub>pr</sub>——再现性；  
Z ——断面收缩率。

图 M.4 表 M.4 给出数据的图形表达

## 参 考 文 献

- [1] GB/T 24182—2009 金属力学性能试验 出版标准中的符号和定义.
- [2] ASTM E1012, Standard practice for verification of test frame and specimen alignment under tensile and compressive axial force application
- [3] 李和平, 周星. 借助准标样测算拉伸试验测量不确定度的方法[J]. 理化检验-物理分册, 2005, 41(6): 289—300.
- [4] KLINGELHÖFFER, 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 TEN- STAND —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](http://www.bam.de/de/service/publikationen/publikationen_medien/fb268_vt.pdf)
- [5] 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
- [6] ASTM Research Report E 28 1004:1994, Round robin results of interlaboratory tensile tests
- [7] 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.)
- [8] 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.)

中 华 人 民 共 和 国  
国 家 标 准  
金属材料 拉伸试验  
第 1 部分:室温试验方法  
GB/T 228.1—2010

\*

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

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

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷  
各地新华书店经销

\*

开本 880×1230 1/16 印张 4.5 字数 124 千字  
2011 年 7 月第一版 2011 年 7 月第一次印刷

\*

书号: 155066 · 1-42212



GB/T 228.1—2010

如有印装差错 由本社发行中心调换  
版权专有 侵权必究  
举报电话:(010)68533533