

中华人民共和国国家标准

金属材料 室温拉伸试验方法

GB/T 228—2002

eqv ISO 6892:1998

代替 GB/T 228—1987

GB/T 3076—1982

GB/T 6397—1986

Metallic materials-Tensile testing at ambient temperature

(续)

7 原始横截面积(S_0)的测定

试样的原始横截面积测定的方法和准确度应符合附录 A~D(标准的附录)规定的要求。测量时建议按照表 3 选用量具或测量装置。应根据测量的试样原始尺寸计算原始横截面积,并至少保留 4 位有效数字。

表 3 量具或测量装置的分辨力^{2]} mm

试样横截面尺寸	分辨力 不大于
0.1~0.5	0.001
>0.5~2.0	0.005
>2.0~10.0	0.01
>10.0	0.05

8 原始标距(L_0)的标记

应用小标记、细划线或细墨线标记原始标距,但不得用引起过早断裂的缺口作标记。

对于比例试样,应将原始标距的计算值修约至最接近 5mm 的倍数,中间数值向较大一方修约。原始标距的标记应准确到±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。

9 试验设备的准确度

试验机应按照 GB/T 16825 进行检验,并应为 1 级或优于 1 级的准确度。

采用说明

2] 国际标准未规定此表的要求。增加此要求以保证试样原始横截面积的测定准确度符合规定的要求。

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

10 试验要求

10.1 试验速率

除非产品标准另有规定,试验速率取决于材料特性并应符合下列要求。

10.1.1 测定屈服强度和规定强度的试验速率

10.1.1.1 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 4 规定的应力速率的范围内。

表 4 应力速率

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

10.1.1.2 下屈服强度(R_{eL})

若仅测定下屈服强度,在试样平行长度的屈服期间应变速率应在 0.000 25/s~0.002 5/s 之间。平行长度内的应变速率应尽可能保持恒定。如不能直接调节这一应变速率,应通过调节屈服即将开始的应力速率来调整,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 4 规定的最大速率。

10.1.1.3 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 10.1.1.2 的要求。

10.1.1.4 规定非比例延伸强度(R_p)、规定总延伸强度(R_t)和规定残余延伸强度(R_r)

应力速率应在表 4 规定的范围内。

在塑性范围和直至规定强度(规定非比例延伸强度、规定总延伸强度和规定残余延伸强度)应变速率不应超过 0.002 5/s。

10.1.1.5 夹头分离速率

如试验机无能力测量或控制应变速率,直至屈服完成,应采用等效于表 4 规定的应力速率的试验机夹头分离速率。

10.1.2 测定抗拉强度(R_m)的试验速率

10.1.2.1 塑性范围

平行长度的应变速率不应超过 0.008/s。

10.1.2.2 弹性范围

如试验不包括屈服强度或规定强度的测定,试验机的速率可以达到塑性范围内允许的最大速率。

10.2 夹持方法

应使用例如楔形夹头、螺纹夹头、套环夹头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。当试验脆性材料或测定规定非比例延伸强度、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。

11 断后伸长率(A)和断裂总伸长率(A_t)的测定

11.1 应按照 4.4.1 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。

应使用分辨力优于 0.1mm 的量具或测量装置测定断后标距(L_u),准确到 ± 0.25 mm。如规定的最小断后伸长率小于 5%,建议采用特殊方法进行测定[见附录 E(提示的附录)]。

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。

11.2 能用引伸计测定断裂延伸的试验机,引伸计标距(L_e)应等于试样原始标距(L_0),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。

原则上,断裂发生在引伸计标距以内方为有效,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。

注: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。

11.3 试验前通过协议,可以在一固定标距上测定断后伸长率,然后使用换算公式或换算表将其换算成比例标距的断后伸长率(例如可以使用 GB/T 17600.1 和 GB/T 17600.2 的换算方法)。

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

11.4 为了避免因发生在 11.1 规定的范围以外的断裂而造成试样报废,可以采用附录 F(提示的附录)的移位方法测定断后伸长率。

11.5 按照 11.2 测定的断裂总延伸除以试样原始标距得到断裂总伸长率(见图 1)。

12 最大力总伸长率(A_{gt})和最大力非比例伸长率(A_g)的测定

在用引伸计得到的力-延伸曲线图上测定最大力时的总延伸(ΔL_m)。最大力总伸长率按照式(1)计算

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \times 100 \quad (1)$$

从最大力时的总延伸 ΔL_m 中扣除弹性延伸部分即得到最大力时的非比例延伸,将其除以引伸计标距得到最大力非比例伸长率(A_g)(见图 1)。

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伸长率(见图 1)。

试验报告中应报告引伸计标距。

如试验是在计算机控制的具有数据采集系统的试验机上进行,直接在最大力点测定总伸长率和相应的非比例伸长率,可以不绘制力-延伸曲线图。

附录 G(提示的附录)提供了人工测定的方法。

13 屈服点延伸率(A_e)的测定³⁾

按照定义 4.6.4 和根据力-延伸曲线图测定屈

屈服点延伸率。试验时记录力-延伸曲线,直至达到均匀加工硬化阶段。在曲线图上,经过屈服阶段结束点划一条平行于曲线的弹性直线段的平行线,此平行线在曲线图的延伸轴上的截距即为屈服点延伸,屈服点延伸除以引伸计标距得到屈服点延伸率(见图 6)。

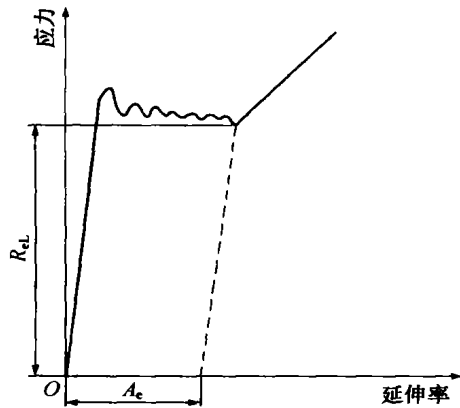


图 6 屈服点延伸率(A_e)

可以使用自动装置(例如微处理机等)或自动测试系统测定屈服点延伸率,可以不绘制力-延伸曲线图。

试验报告中应报告引伸计标距。

14 上屈服强度(R_{eH})和下屈服强度(R_{eL})的测定⁴⁾

14.1 呈现明显屈服(不连续屈服)现象的金属材料,相关产品标准应规定测定上屈服强度或下屈服强度或两者。如未具体规定,应测定上屈服强度和下屈服强度,或下屈服强度[图 2d)情况]。按照定义 4.9.2.1 和 4.9.2.2 及采用下列方法测定上屈服强度和下屈服强度。

14.1.1 图解方法:试验时记录力-延伸曲线或力-位移曲线。从曲线图读取力首次下降前的最大力和不计初始瞬时效应时屈服阶段中的最小力或屈服平台的恒定力。将其分别除以试样原始横截面积(S_0)得到上屈服强度和下屈服强度(见图 2)。仲裁试验采用图解方法。

14.1.2 指针方法:试验时,读取测力度盘指针首次

采用说明

3) 国际标准未规定此条内容。为了按照定义 4.6.4 进行测定,补充此条规定。

4) 国际标准未规定此条内容。为了按照定义 4.9.2.1 和 4.9.2.2 进行测定,补充此条规定。

回转前指示的最大力和不计初始瞬时效应时屈服阶段中指示的最小力或首次停止转动指示的恒定力。将其分别除以试样原始横截面积(S_0)得到上屈服强度和下屈服强度。

14.1.3 可以使用自动装置(例如微处理机等)或自动测试系统测定上屈服强度和下屈服强度,可以不绘制拉伸曲线图。

15 规定非比例延伸强度(R_p)的测定

15.1 根据力-延伸曲线图测定规定非比例延伸强度。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的距离等效于规定非比例延伸率,例如 0.2% 的直线。此平行线与曲线的交点给出相应于所求规定非比例延伸强度的力。此力除以试样原始横截面积(S_0)得到规定非比例延伸强度(见图 3)。

准确绘制力-延伸曲线图十分重要。

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分这一平行线,推荐采用如下方法(见图 7)。

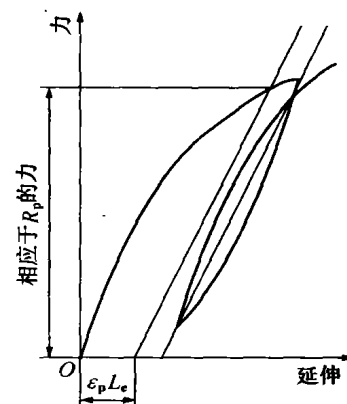


图 7 规定非比例延伸强度(R_p)(见 15.1)

试验时,当已超过预期的规定非比例延伸强度后,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。为了测定规定非比例延伸强度,过滞后环划一直线。然后经过横轴上与曲线原点的距离等效于所规定的非比例延伸率的点,作平行于此直线的平行线。平行线与曲线的交点给出相应于规定非比例延伸强度的力。此力除以试样原始横截面积(S_0)得到规定非比例延伸强度(见图 7)。

附录 H(提示的附录)提供了逐步逼近方法,可以采用。

注:可以用各种方法修正曲线的原点。一般使用如下方法:在曲线图上穿过其斜率最接近于滞后环斜率的弹性上升部分,划一条平行于滞后环所确定的直线的平行线,此平行线与延伸轴的交截点即为曲线的修正原点。

15.2 可以使用自动装置(例如微处理机等)或自动测试系统测定规定非比例延伸强度,可以不绘制力-延伸曲线图。

15.3 日常一般试验允许采用绘制力-夹头位移曲线的方法测定规定非比例延伸率等于或大于 0.2% 的规定非比例延伸强度,仲裁试验不采用此方法。

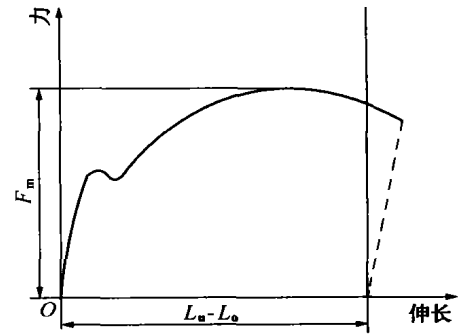


图 8 最大力(F_m)

16 规定总延伸强度(R_t)的测定

16.1 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(见图 4)。

16.2 可以使用自动装置(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。

17 规定残余延伸强度(R_r)的验证方法

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

如相关产品标准要求测定规定残余延伸强度,可以采用附录 I(提示的附录)提供的方法进行测定。

18 抗拉强度(R_m)的测定^{5]}

按照定义 4.9.1 和采用图解方法或指针方法测定抗拉强度。

对于呈现明显屈服(不连续屈服)现象的金属材,从记录的力-延伸或力-位移曲线图,或从测力度盘,读取过了屈服阶段之后的最大力(见图 8);对于呈现无明显屈服(连续屈服)现象的金属材,从记录的力-延伸或力-位移曲线图,或从测力度盘,读取试验过程中最大力。最大力除以试样原始横截面积(S_0)得到抗拉强度。

可以使用自动装置(例如微处理机等)或自动测

采用说明

5] 国际标准未规定此条内容。为了按照定义 4.9.1 进行具体测定,补充此条规定。

试系统测定抗拉强度,可以不绘制拉伸曲线图。

19 断面收缩率(Z)的测定

19.1 按照定义 4.7 测定断面收缩率。断裂后最小横截面积的测定应准确到 $\pm 2\%$ 。

19.2 测量时,如需要,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。对于圆形横截面试样,在缩颈最小处相互垂直方向测量直径,取其算术平均值计算最小横截面积;对于矩形横截面试样,测量缩颈处的最大宽度和最小厚度(见图 9),两者之乘积为断后最小横截面积。

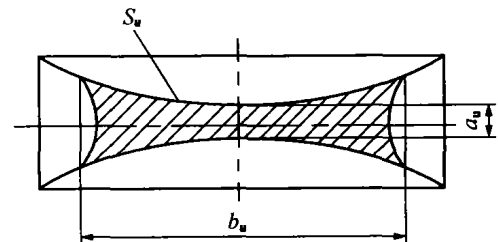


图 9 矩形横截面试样缩颈处最大宽度和最小厚度

原始横截面积(S_0)与断后最小横截面积(S_u)之差除以原始横截面积的百分率得到断面收缩率。

19.3 薄板和薄带试样、管材全截面试样、圆管纵向弧形试样和其他复杂横截面试样及直径小于 3mm 试样,一般不测定断面收缩率。如要求,应双方商定测定方法,断后最小横截面积的测定准确度亦应符合 19.1 的要求。

20 性能测定结果数值的修约^{6]}

试验测定的性能结果数值应按照相关产品标准的要求进行修约。如未规定具体要求,应按照表 5 的要求进行修约。修约的方法按照 GB/T 8170。

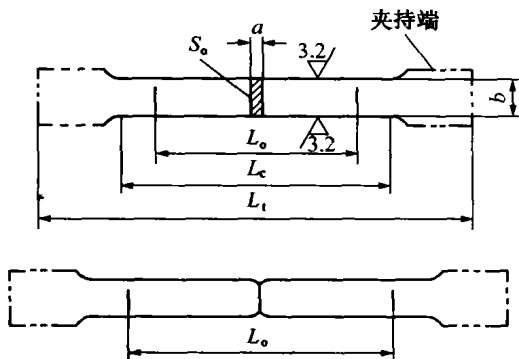


图 10 机加工的矩形横截面试样(见附录 A)
注:试样头部形状仅为示意性

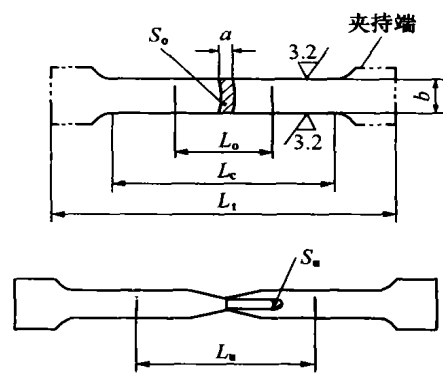


图 13 管的纵向弧形试样(见附录 D)
注:试样头部形状仅为示意性

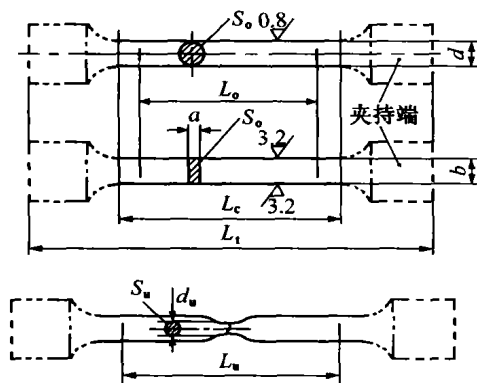


图 11 比例试样(见附录 B)
注:1 四面机加工的矩形横截面试样仲裁试验时

其表面粗糙度应不劣于 0.8

2 试样头部形状仅为示意性

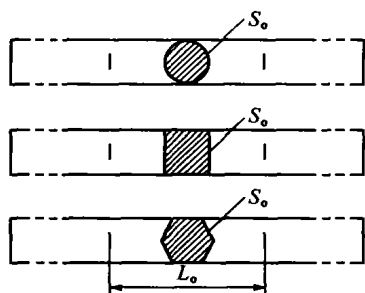


图 12 为产品一部分的不经机加工试样(见附录 C)
注:试样头部形状仅为示意性

21 性能测定结果的准确度

性能测定结果的准确度取决于各种试验参数,

采用说明

6] 国际标准仅对断后伸长率的测定结果数值规定修约间隔为 0.5%。补充规定其他性能测定结果数值的修约要求。

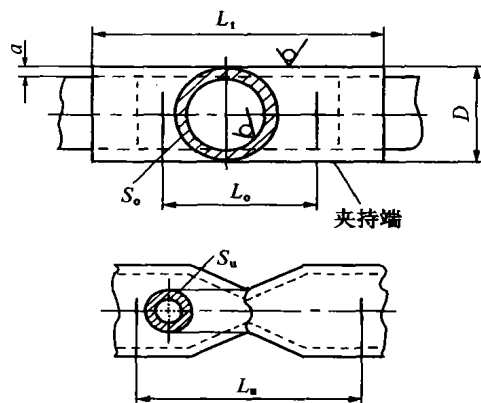


图 14 管段试样(见附录 D)

表 5 性能结果数值的修约间隔

性能	范围	修约间隔
$R_{eH}, R_{eL}, R_p, R_t, R_r, R_m$	$\leq 200\text{N/mm}^2$	1N/mm ²
	$> 200\text{N/mm}^2 \sim 1\ 000\text{N/mm}^2$	5N/mm ²
	$> 1\ 000\text{N/mm}^2$	10N/mm ²
A_e		0.05%
A, A_t, A_{gt}, A_g		0.5%
Z		0.5%

分两类:

计量参数:例如试验机和引伸计的准确度级别,试样尺寸的测量准确度等。

材料和试验参数:例如材料的特性,试样的几何形状和制备,试验速率、温度、数据采集和分析技术等。

在缺少各种材料类型的充分数据的情况下,目前还不能准确确定拉伸试验的各种性能的测定准确度值。

附录 J(提示的附录)提供了与计量参数相关的不确定度指南。

(下转第 270 页)

度值在 39~41HRC 之间,为技术要求的上限,并略有超出;金相组织也表明热处理调质无异常。如果在装配时扭矩超载,则它的失效形式应是以塑性变形为特征。该螺栓在 A 端拧紧后并没有断裂,而在拧紧 B 端后的一段时间才出现失效,这说明在应力条件下,产生了以沿晶裂纹为主的脆性断口,是符合典型的氢脆断裂特征的。

氢损伤或氢脆的表现形式有两种,一般可以分为不可逆氢脆和可逆氢脆,前者指氢造成永久性损伤,其缺陷是氢致鼓泡,或材料中出现白点、发纹等;可逆氢脆是指排除氢后力学性能可以恢复的氢脆现象。从失效件断口附近的金相组织未显示白点和发纹可说明此批试件属于可逆氢脆,通过重新去氢可消除脆性,此结论在氢脆验证时得到论证,从而证明在电镀酸洗过程中氢尚未除尽而导致在应力下延迟破坏,属于第二类可逆氢脆。

螺栓在酸洗和电镀时,高浓度强酸中的氢侵入零件,通常强度级别高的材料比强度级别低材料氢脆敏感性大,裂纹扩展速度也大。失效件硬度已达 40~41HRC,这相对于正常硬度范围 32~39HRC 或更低硬度的紧固件而言,则更易增加脆性风险。

因为氢可使金属原子间的结合力减弱而使金属变脆,有关文献^[1]已有讨论,对固溶氢导致氢脆现象,多半是因为使金属中位错增殖,并促使位错运动,氢和位错的交互作用使得裂纹前沿塑性区及三向应力集中区发生氢富集,富集的氢引起原子结合力下降,在一定应力状态下,因氢浓度达到临界值而致裂纹扩展,裂纹扩展又使裂纹尖端氢浓度降低,裂纹扩展停止。而在新形成的高应力应变区氢再度被吸引,当富集到临界浓度时裂纹再度扩展,裂尖氢浓度又降低,出现止裂,这个过程会不断延续。

同时氢压理论^[2]告诉我们,吸氢会使金属内部存在过饱和氢,当存在这种不平衡状态,它总要趋于平衡。一种可能是氢通过扩散而跑出金属表面,但由于自由表面反应的限制,在一般条件下氢向外跑出去的速度是较慢的,特别是在浸泡充氢或电解充氢过程中,氢原子都向金属内部扩散。过饱和氢趋于平衡的第二种方式是被各种陷阱(如位错,晶界以及第二相界面)捕获氢原子并使之变成氢分子的空洞也是一种陷阱,因而这种陷阱中的氢分子浓度可以达到很高的值。一旦氢分子形成,空洞内就存在氢压。所以当金属含有过饱和的氢,则会在一定条

件下结合成氢分子从而产生巨大的内压力,这种压力将与外应力共同作用使氢致裂纹产生和扩展。最终由于氢的存在使材料变脆,当螺栓在外应力作用下即发生断裂。

4 结论

由于螺栓在酸洗、电镀后没有除氢或除氢不完全,使之在受力拧紧情况下两天后发生脆性断裂。

参考文献:

- [1] 中国机械工程学会材料学会主编. 脆性失效分析[M]. 北京:机械工业出版社, 1999. 84.
了[2] 褚武扬. 氢损伤和滞后断裂[M]. 北京:冶金工业出版社, 1988. 254.

(上接第 257 页)

附录 K(提示的附录)提供了一组钢、铝合金和镍基合金通过实验室间试验得到的拉伸试验不确定度值。

22 试验结果处理^{7]}

22.1 试验出现下列情况之一其试验结果无效,应重做同样数量试样的试验。

- a) 试样断在标距外或断在机械刻划的标距标记上,而且断后伸长率小于规定最小值;
b) 试验期间设备发生故障,影响了试验结果。

22.2 试验后试样出现两个或两个以上的缩颈以及显示出肉眼可见的冶金缺陷(例如分层、气泡、夹渣、缩孔等),应在试验记录和报告中注明。

23 试验报告

试验报告一般应包括下列内容:

- a) 本国家标准编号;
b) 试样标识;
c) 材料名称、牌号;
d) 试样类型;
e) 试样的取样方向和位置;
f) 所测性能结果。

采用说明

^{7]} 国际标准未规定此条内容。实际试验会有遇到这些情况,补充相应的规定。

(待续)