

前 言

本标准代替 GB/T 10128—1988《金属室温扭转试验方法》，与其相比变化如下：

- 在规范性引用文件中删去了原引用标准 GB 6397《金属拉伸试验试样》，增加了 GB/T 10623《金属材料力学性能试验术语》、JJG 269《扭转试验机》；
- 在“术语、符号”一章，将术语按照 GB/T 1.1—2000 重新进行了编写，将“屈服点”改为“屈服强度”、“上屈服点”改为“上屈服强度”、“下屈服点”改为“下屈服强度”；删去了原标准表 1 中的符号“ τ_s ”；
- 在第 5 章中增加了“图 2 管状试样塞头”；
- 对扭转计的要求进行了修改；
- 修改了扭转速度；
- 将屈服点、上屈服点和下屈服点的测定改为“上屈服强度和下屈服强度的测定”，同时删去了 GB/T 10128—1988 中的公式(7)；
- 在性能测试中增加了使用自动装置测定的内容；
- 对 GB/T 10128—1988 中的公式(11)进行了修改；
- 将数值修约改为分段修约；
- 对试验报告的内容进行了补充。

本标准的附录 A、附录 B 和附录 C 为资料性附录。

本标准由中国钢铁工业协会提出。

本标准由全国钢标准化技术委员会归口。

本标准起草单位：钢铁研究总院、深圳市新三思材料检测有限公司、冶金工业信息标准研究院、济南时代试金仪器有限公司。

本标准起草人：赵俊平、高怡斐、安建平、董莉、鲁建周。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

- GB/T 10128—1988。

金属材料 室温扭转试验方法

1 范围

本标准规定了金属材料室温扭转试验方法的术语、符号、原理、试样、试验设备、性能测定、测得性能数值的修约和试验报告。

本标准适用于金属材料的室温下测定其扭转力学性能。

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(不包括勘误的内容)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。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 8170 数值修约规则

GB/T 10623 金属材料力学性能试验术语

JJG 269 扭转试验机

3 原理

对试样施加扭矩,测量扭矩及其相应的扭角,一般扭至断裂,以便测定本标准定义的一项或几项扭转力学性能。

4 术语、定义及符号

4.1 术语及定义

GB/T 10623 中规定的术语以及下列术语及定义适用于本标准。

4.1.1

标距 gauge length

L_0

试样上用以测量扭角的两标记间距离的长度。

4.1.2

扭转计标距 troptometer gauge length

L_e

用扭转计测量试样扭角所使用试样平行部分的长度。

4.1.3

最大扭矩 maximum torque

T_m

试样在屈服阶段之后所能抵抗的最大扭矩。对于无明显屈服的(连续屈服)金属材料,为试验期间的最大扭矩。

4.1.4

剪切模量 shear modulus

G

切应力与切应变成线性比例关系范围内切应力与切应变之比。

4.1.5

规定非比例扭转强度 **proof strength, non-proportional torsion**

τ_p

扭转试验中,试样标距部分外表面上的非比例切应变达到规定数值时的切应力。

注:表示此应力的符号应附以角注说明,例如 $\tau_{p0.015}$ 、 $\tau_{p0.3}$ 等,分别表示规定的非比例切应变达到 0.015% 和 0.3% 的切应力。

4.1.6

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发生而扭矩不增加的应力点,应区分上屈服强度和下屈服强度。

4.1.6.1

上屈服强度 **upper yield strength**

τ_{eH}

扭转试验中,试样发生屈服而扭矩首次下降前的最高切应力。

4.1.6.2

下屈服强度 **lower yield strength**

τ_{eL}

扭转试验中,在屈服期间不计初始瞬时效应时的最低切应力。

4.1.7

抗扭强度 **torsional strength**

τ_m

相应最大扭矩的切应力。

4.1.8

最大非比例切应变 **maximum shear strain, non-proportional**

γ_{max}

试样扭断时其外表面上的最大非比例切应变。

注: τ_p 、 τ_{eH} 、 τ_{eL} 、 τ_m 使用弹性扭转公式计算,如考虑塑性,后面所使用的计算公式将有所不同。

4.2 符号

符号、名称和单位见表 1。

表 1 符号、名称及单位

符 号	名 称	单 位
a	管形试样平行长度部分的管壁厚度	mm
d	圆柱形试样和管形试样平行长度部分的外直径	mm
L_c	试样平行长度	mm
L_0	试样标距	mm
L_e	扭转计标距	mm
L	试样总长度	mm
R	试样头部过渡半径	mm
T	扭矩	N · mm
T_p	规定非比例扭矩(试验记录或报告中应附以所测应力的角注,例如 $T_{p0.015}$ 、 $T_{p0.3}$ 等)	N · mm

表 1 (续)

符 号	名 称	单 位
T_{eH}	上屈服扭矩	N · mm
T_{eL}	下屈服扭矩	N · mm
T_m	最大扭矩	N · mm
ΔT	扭矩增量	N · mm
ϕ	扭角	(°)
ϕ_{max}	最大非比例扭角	(°)
$\Delta\phi$	扭角增量	(°)
I_p	极惯性矩	mm ⁴
W	截面系数	mm ³
G	剪切模量	MPa
τ_p	规定非比例扭转强度	MPa
τ_{eH}	上屈服强度	MPa
τ_{eL}	下屈服强度	MPa
τ_m	抗扭强度	MPa
γ_p	非比例切应变	%
γ_{max}	最大非比例切应变	%
π	圆周率	

5 试样

5.1 试样形状和尺寸

5.1.1 圆柱形试样

圆柱形试样的形状和尺寸见图 1。试样头部形状和尺寸应适应试验机夹头夹持。推荐采用直径为 10 mm,标距分别为 50 mm 和 100 mm,平行长度分别为 70 mm 和 120 mm 的试样。如采用其他直径的试样,其平行长度应为标距加上两倍直径。

单位为毫米

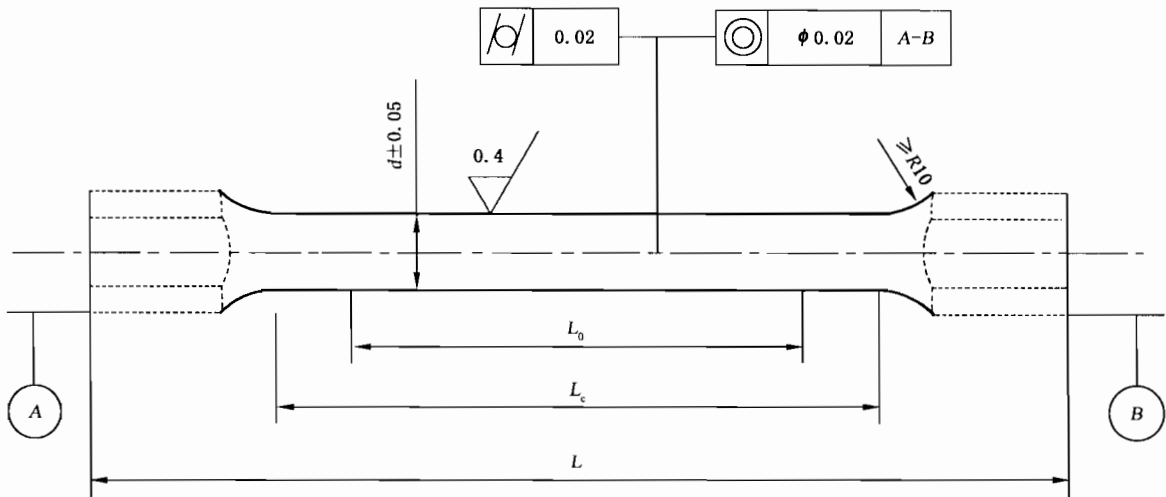
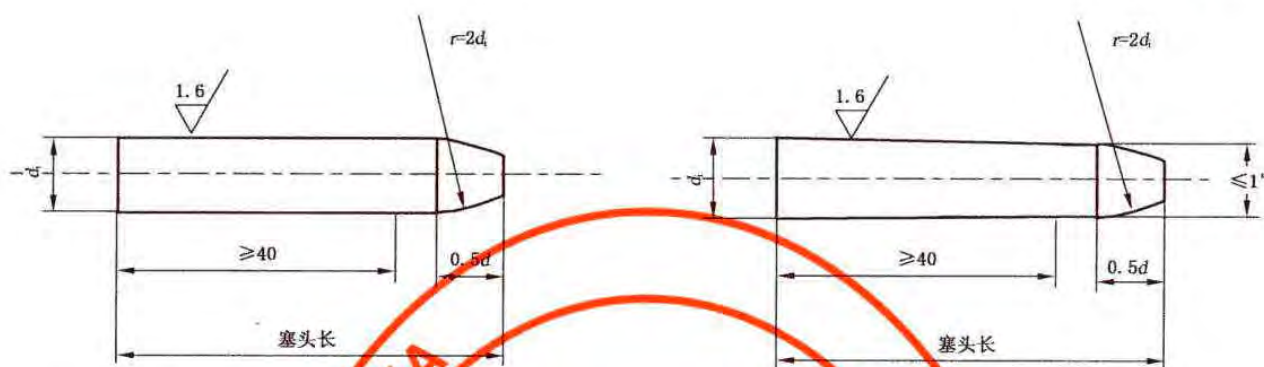


图 1 圆柱形试样

单位为毫米



注： d_i 为管形试样内径。

图 2 管形试样塞头

5.1.2 管形试样

管形试样的平行长度应为标距加上两倍外直径。其外直径和管壁厚度的尺寸公差及内外表面粗糙度应符合有关标准和协议要求。试样应平直，试样两端应间隙配合塞头，塞头不应伸进其平行长度内。塞头的形状和尺寸见图 2。

5.2 试样尺寸测量

5.2.1 圆柱形试样

圆柱形试样应在标距两端及中间处两个相互垂直的方向上各测一次直径，并取其算术平均值，取用 3 处测得直径的算术平均值计算试样的极惯性矩，取用 3 处测得直径的算术平均值中的最小值计算试样的截面系数。

5.2.2 管形试样

管形试样应在其一端两个相互垂直的方向上各测一次外径，取其算术平均值。在同一端两个相互垂直的方向上测量四处管壁厚度，取其算术平均值。取用测得的平均外径和平均管壁厚度计算管形试样的极惯性矩和截面系数。

5.2.3 按表 2 选用测量装置。测量装置应定期进行校准。

表 2 测量装置的分辨力

单位为毫米

试样尺寸		测量装置分辨力
直径		0.01
壁厚	<1	0.002
	≥1	0.01
标距		0.05

6 试验设备

6.1 试验机

- 6.1.1 试验机应符合 JJG 269 的要求。
- 6.1.2 试验时试验机两夹头中之一应能沿轴向自由移动，对试样无附加轴向力，两夹头保持同轴。
- 6.1.3 试验机应能对试样连续施加扭矩，无冲击和震动。
- 6.1.4 应具有良好的读数稳定性，在 30 s 内保持扭矩恒定。

6.1.5 试验机应定期进行校准。

6.2 扭转计

允许使用不同类型的扭转计测量扭角,但均应满足如下要求:

6.2.1 扭转计标距相对误差应不大于 $\pm 0.5\%$,并能牢固地装卡在试样上,试验过程中不发生滑移;

6.2.2 扭角示值分辨力: $\leq 0.001^\circ$;

6.2.3 扭角示值相对误差: $\pm 1.0\%$ (在 $\leq 0.5^\circ$ 范围时,示值误差 $\leq 0.005^\circ$);

6.2.4 扭角示值重复性: $\leq 1.0\%$;

6.2.5 扭转计参照 GB/T 12160 定期进行校准。

7 试验条件

7.1 试验一般在室温 $10^\circ\text{C} \sim 35^\circ\text{C}$ 范围内进行。对温度要求严格的试验,试验温度应为 $23^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ 。

7.2 扭转速度:屈服前应在 $3^\circ/\text{min} \sim 30^\circ/\text{min}$ 范围内,屈服后不大于 $720^\circ/\text{min}$ 。速度的改变应无冲击。

8 性能测定

8.1 剪切模量的测定

8.1.1 图解法:用自动记录方法记录扭矩-扭角曲线。在所记录曲线的弹性直线段上,读取扭矩增量和相应的扭角增量,见图 3。按公式(1)计算剪切模量。

$$G = \frac{\Delta T L_\epsilon}{\Delta \phi I_p} \quad \dots\dots\dots (1)$$

式中极惯性矩 I_p 为:

圆柱形试样:

$$I_p = \frac{\pi d^4}{32} \quad \dots\dots\dots (2)$$

管形试样:

$$I_p = \frac{\pi d^3 a}{4} \left[1 - \frac{3a}{d} + \frac{4a^2}{d^2} - \frac{2a^3}{d^3} \right] \quad \dots\dots\dots (3)$$

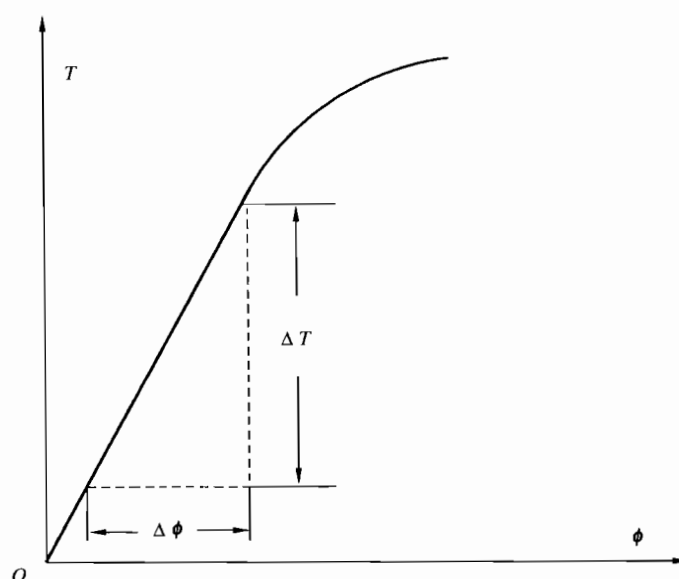


图 3 剪切模量

8.1.2 逐级加载法:对试样施加预扭矩,预扭矩一般不超过相应预期规定非比例扭转强度 $\tau_{p0.015}$ 的 10% 。

装上扭转计并调整其零点。在弹性直线段范围内,用不少于 5 级等扭矩对试样加载。记录每级扭矩和相应的扭角,读取每对数据对的时间以不超过 10 s 为宜。计算出平均每级扭角增量。按公式(1)计算剪切模量。测定举例参见附录 A。

注:允许用最小二乘法将数据对拟合直线计算剪切模量。

8.1.3 使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

8.2 规定非比例扭转强度的测定

8.2.1 图解法:用自动记录方法记录扭矩-扭角曲线,见图 4。在记录的曲线上延长弹性直线段交扭角轴于 O 点,截取 $OC(OC=2L_e\gamma_p/d)$ 段,过 C 点作弹性直线段的平行线 CA 交曲线于 A 点, A 点对应的扭矩为所求扭矩 T_p 。按公式(4)计算规定非比例扭转强度。

$$\tau_p = \frac{T_p}{W} \quad \dots\dots\dots(4)$$

式中截面系数 W 为:

圆柱形试样:

$$W = \frac{\pi d^3}{16} \quad \dots\dots\dots(5)$$

管形试样:

$$W = \frac{\pi d^2 a}{2} \left[1 - \frac{3a}{d} + \frac{4a^2}{d^2} - \frac{2a^3}{d^3} \right] \quad \dots\dots\dots(6)$$

注:图解法测定真实规定非比例扭转强度参照附录 B 进行。

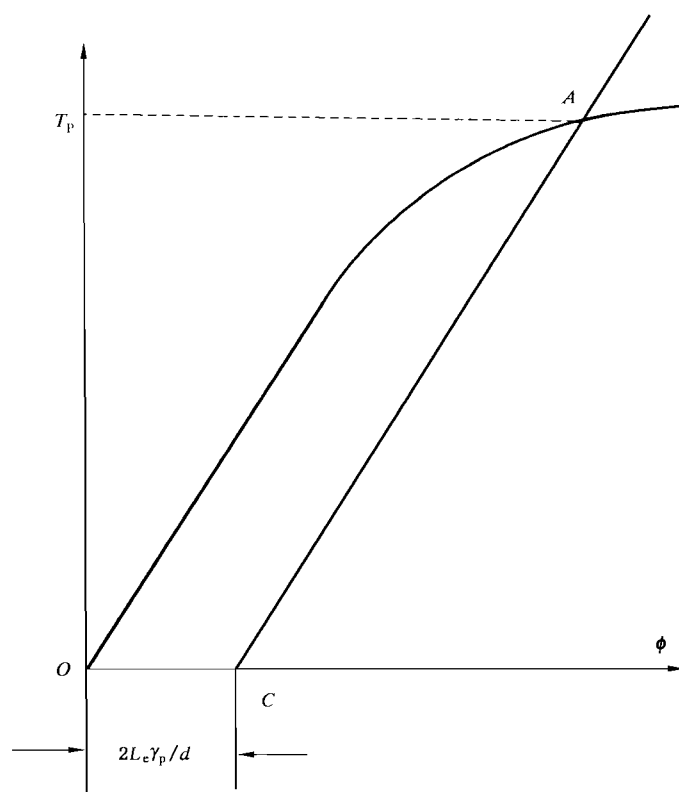


图 4 规定非比例扭转强度

8.2.2 逐级加载法:按 8.1.2 对试样施加预扭矩后,装卡扭转计并调整零点。在相当于规定非比例扭

转强度 $\tau_{p0.015}$ 的 70%~80% 以前,施加大等级扭矩,以后施加小等级扭矩,小等级扭矩应相当于不大于 10 MPa 的切应力增量。读取各级扭矩和相应的扭角。读取每对数据对的时间以不超过 10 s 为宜。

从各级扭矩下的扭角读数中减去计算得到的弹性部分扭角,即得非比例部分扭角。施加扭矩直至得到非比例扭角等于或稍大于所规定的数值为止。用内插法求出精确的扭矩,按公式(4)计算规定非比例扭转强度。测定举例参见附录 C。

8.2.3 使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

8.3 上屈服强度和下屈服强度的测定

采用图解法或指针法进行测定,仲裁试验采用图解法。试验时用自动记录方法记录扭转曲线(扭矩-扭角曲线或扭矩-夹头转角曲线),或直接观测试验机扭矩度盘指针的指示。

使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

首次下降前的最大扭矩为上屈服扭矩;屈服阶段中不计初始瞬时效应的最小扭矩为下屈服扭矩;见图 5。分别按公式(7)、公式(8)计算上屈服强度和下屈服强度。

$$\tau_{eH} = \frac{T_{eH}}{W} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$\tau_{eL} = \frac{T_{eL}}{W} \quad \dots\dots\dots (8)$$

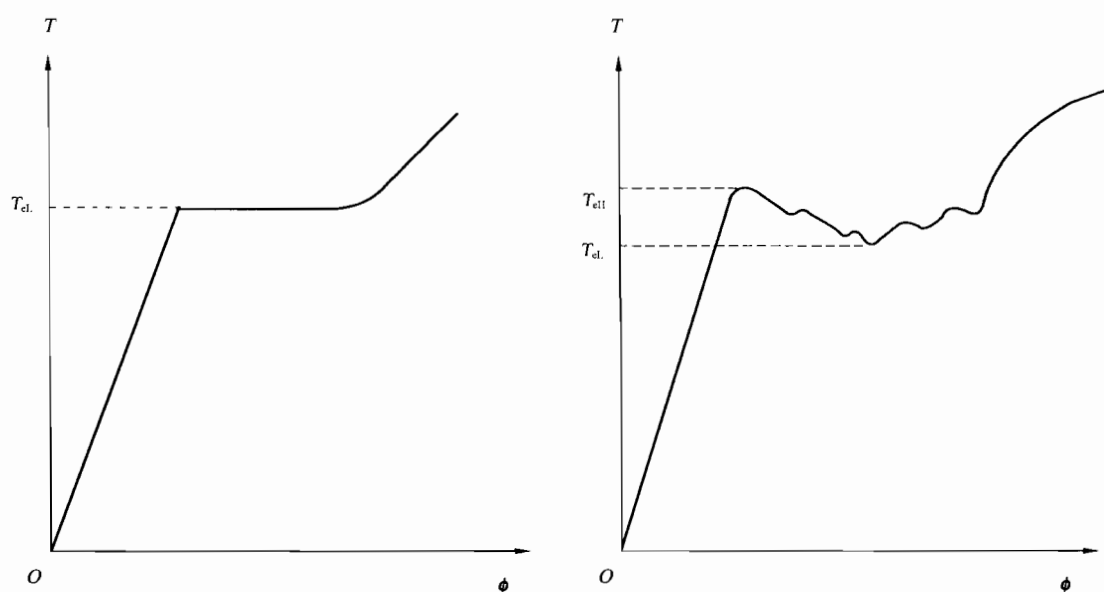


图 5 上、下屈服强度

8.4 抗扭强度的测定

对试样连续施加扭矩,直至扭断。从记录的扭转曲线(扭矩-扭角曲线或扭矩-夹头转角曲线)或试验机扭矩度盘上读出试样扭断前所承受的最大扭矩,见图 6。按公式(9)计算抗扭强度。

使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

$$\tau_m = \frac{T_m}{W} \quad \dots\dots\dots (9)$$

注:图解法测定真实抗扭强度参照附录 B 进行。

GB/T 10128—2007

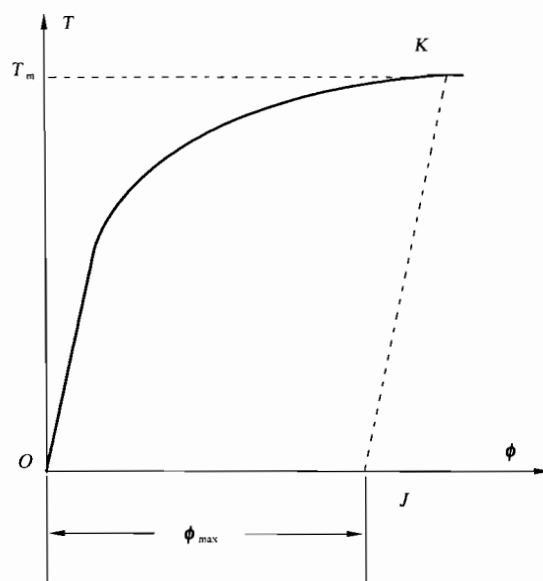


图 6 抗扭强度

8.5 最大非比例切应变的测定

试验时对试样连续施加扭矩,记录扭矩-扭角曲线,直至扭断。过断裂点 K 作曲线的弹性直线段的平行线 KJ 交扭角轴于 J 点, OJ 即为最大非比例扭角,见图 6。按公式(10)计算最大非比例切应变。

$$\gamma_{\max}(\%) = \left(\frac{\phi_{\max} d}{2L_e} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots (10)$$

9 测得性能数值的修约

测得性能数值按表 3 的规定修约,修约的方法按 GB/T 8170 规定。

表 3 性能结果数值的修约间隔

扭转性能	范围	修约到
G	—	100 MPa
τ_p 、 τ_{eH} 、 τ_{eL} 、 τ_m	≤ 200 MPa	1 MPa
	> 200 MPa~1 000 MPa	5 MPa
	$> 1\,000$ MPa	10 MPa
$\gamma_{\max}$	—	0.5%

10 试验报告

试验报告一般应包括以下内容:

- 本国家标准编号;
- 试样特征描述;
- 试样编号、尺寸;
- 测定各项性能的结果;
- 日期。

附录 A
(资料性附录)

逐级加载法测定剪切模量举例

试验材料:钛合金

委托单位:

试样尺寸: $d=10.00\text{ mm}$

试样编号:

扭转计标距: $L_e=100.0\text{ mm}$

扭转计类型:镜式仪

镜面至标尺距离: $s=1\,000\text{ mm}$

极惯性矩: $I_p=981.75\text{ mm}^4$

表 A.1

扭矩 T / ($\text{N} \cdot \text{mm}$)	扭矩增量 $\Delta T / (\text{N} \cdot \text{mm})$	标尺读数/mm		读数增量/mm		读数差/mm $\Delta l_{\text{左}} - \Delta l_{\text{右}}$	读数差 平均值/mm Δl
		$l_{\text{左}}$	$l_{\text{右}}$	$\Delta l_{\text{左}}$	$\Delta l_{\text{右}}$		
10 000	5 000	0	0	—	—	—	—
15 000	5 000	24	5	24	5	19	20.1
20 000	5 000	50	10	26	5	21	
25 000	5 000	74	15	24	5	19	
30 000	5 000	99	20	25	5	20	
35 000	5 000	125	25	26	5	21	
40 000	5 000	151	30	26	5	21	
45 000	5 000	176	35	25	5	20	

$$G = \frac{\Delta T \cdot L_e}{\Delta \phi \cdot I_p} = \frac{\Delta T \cdot L_e}{\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta l}{s} \right) \cdot I_p} = \frac{5\,000 \times 100 \times 2\,000}{20.1 \times 981.75} = 50\,676.08\text{ MPa} \quad \dots\dots (\text{A.1})$$

修约后为: $G=5.07 \times 10^4\text{ MPa}$ 。

附录 B

(资料性附录)

真实规定非比例扭转强度与真实抗扭强度的测定方法

B.1 范围

本附录适用于金属材料圆柱形试样的真实规定非比例扭转强度和真实抗扭强度的测定。

B.2 术语及定义

B.2.1

真实规定非比例扭转强度 true proof strength, non-proportional torsion

τ_{tp}

扭转试验中,圆柱形试样标距部分外表面上的非比例切应变达到规定数值时,按纳达依公式计算的切应力。

注:表示此应力的符号应附以角注说明,例如 $\tau_{tp0.015}$ 、 $\tau_{tp0.3}$ 分别表示规定非比例切应变达到 0.015% 和 0.3% 时的真实切应力。

B.2.2

真实抗扭强度 true torsional strength

τ_{tm}

扭转试验中,圆柱形试样扭断时,按纳达依公式计算的最大切应力。

B.3 试样、试验设备和试验条件

对试样、试验设备和试验条件的要求,分别与本标准中第 5、6、7 章的要求相同。

B.4 测定方法

B.4.1 图解法测定真实规定非比例扭转强度

按 8.2.1 记录扭矩-扭角曲线和作平行线图解确定交点 A 后,以 A 点为切点,过 A 点作曲线的切线 AT_1 交扭矩轴于 T_1 ,见图 B.1。读取 A 点扭矩 T_A 和扭矩 T_1 。按公式(B.1)计算真实规定非比例扭转强度。

$$\tau_{tp} = \frac{4}{\pi d^3} \left[3T_A + \theta_A \left(\frac{dT}{d\theta} \right)_A \right] = \frac{4}{\pi d^3} [4T_A - T_1] \quad \text{.....(B.1)}$$

注:公式中 θ 为相对扭角, $\theta = \phi/L_e$ 。

使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

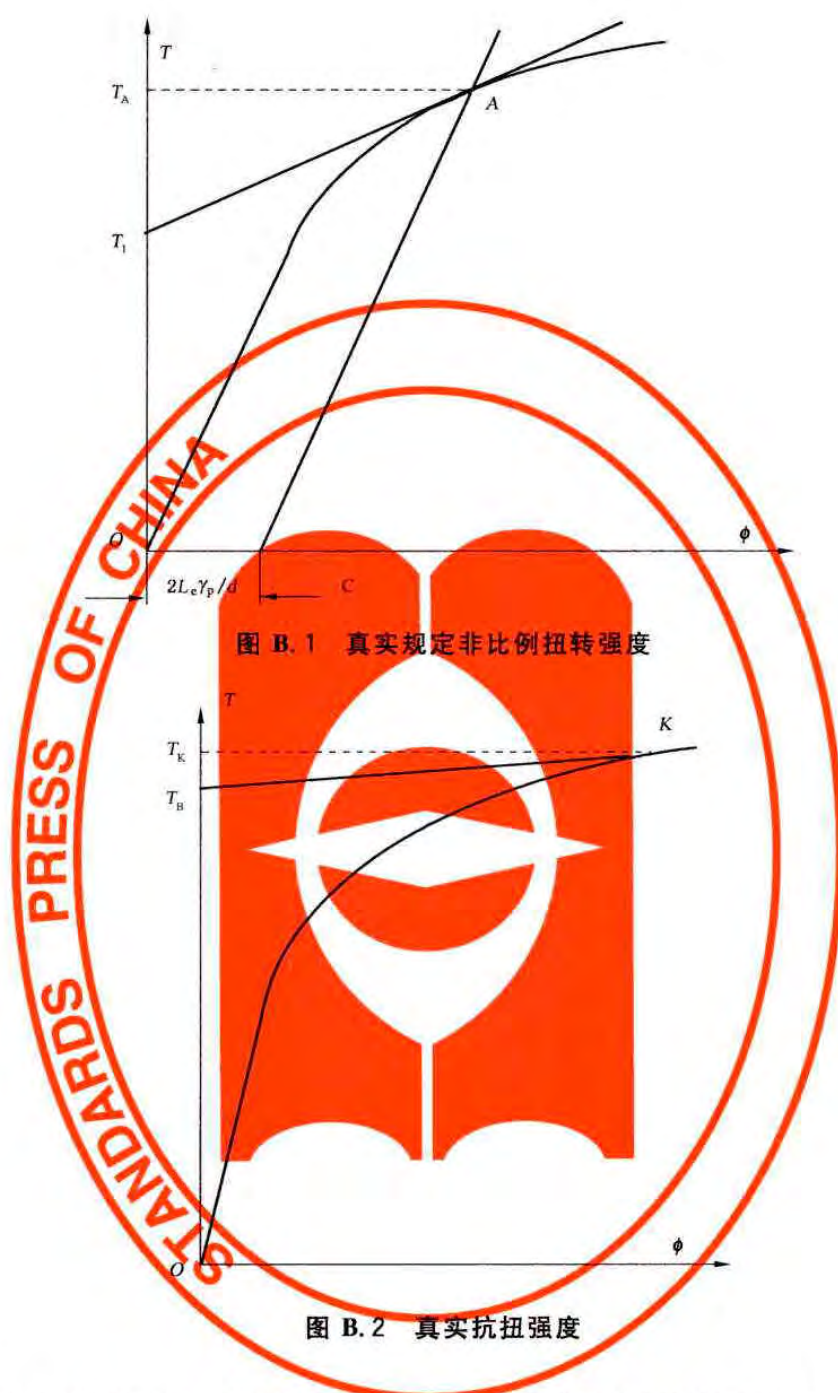
B.4.2 图解法测定真实抗扭强度

$$\tau_{tm} = \frac{4}{\pi d^3} \left[3T_K + \theta_K \left(\frac{dT}{d\theta} \right)_K \right] = \frac{4}{\pi d^3} (4T_K - T_B) \quad \text{.....(B.2)}$$

用自动记录方法记录扭矩-扭角曲线,直至试样扭断。以曲线上断裂点 K 为切点,过 K 点作曲线的切线 KT_B 交扭矩轴于 T_B ,见图 B.2。读取 K 点的扭矩 T_K 和扭矩 T_B 。按公式(B.2)计算真实抗扭强度。

使用自动测试系统得到这一性能时,可不绘制扭矩-扭角曲线。

注:公式中 θ 为相对扭角, $\theta = \phi/L_e$ 。



B.5

真实规定非比例扭转强度 τ_{tp} 和真实抗扭强度 τ_{tm} 的测定结果数值修约到 1 MPa。

附录 C

(资料性附录)

逐级加载法测定规定非比例扭转强度 $\tau_{p0.015}$ 举例

试验材料:碳索钢。

试样尺寸: $d=10.00\text{ mm}$ 。

扭转计标距: $L_e=100.0\text{ mm}$ 。

扭转计分度: $0.000\ 25\text{ rad}$ 。

截面系数: $W=196.35\text{ mm}^3$ 。

预期规定非比例扭转强度 $\tau_{p0.015}=250\text{ MPa}$ 。

取初始预应力 $\tau_0=10\%\ \tau_{p0.015}=25\text{ MPa}$,相当于预扭矩 $T_0=\tau_0\cdot W=4\ 908(\text{N}\cdot\text{mm})$,取整 $T_0=5\ 000(\text{N}\cdot\text{mm})$ 。

相当于预期规定非比例扭转强度的 80% 的扭矩为:

$$T=80\%\ \tau_{p0.015}W=80\times 250\times 196.35/100=39\ 270(\text{N}\cdot\text{mm})$$

取整 $T=39\ 000(\text{N}\cdot\text{mm})$ 。

在预期规定非比例扭转强度的 80% 以前施加大等级扭矩,以后施加小等级扭矩。大等级扭矩取 3 级,每级为:

$$\Delta T = \frac{T - T_0}{3} = \frac{39\ 000 - 5\ 000}{3} = 11\ 333(\text{N}\cdot\text{mm})$$

取整 $\Delta T=11\ 000(\text{N}\cdot\text{mm})$ 。

小等级扭矩取 $\Delta T_1=2\ 000(\text{N}\cdot\text{mm})$ 。

试验记录见表 C.1。

表 C.1 试验记录

扭矩 $T/(\text{N}\cdot\text{mm})$	扭转计读数分度	读数增量分度	计算的比例扭角 读数分度	计算的非比例扭角 读数分度
5 000	0	0	$\Delta A_{2\ 000}=10.3$	—
16 000	53	53		—
27 000	109	56		—
38 000	165	56		—
40 000	174	9		—
42 000	186	12		—
44 000	197	11		—
46 000	207	10		—
48 000	219	12		—
50 000	232	13		—
52 000	249	17	242.3	6.7
54 000	270	21	252.6	17.4
56 000	296	26	262.9	33.1

在线性比例范围内计算得的小等级扭矩的扭角平均增量为:

$$\Delta A_{2\,000} = \frac{232 - 0}{50\,000 - 5\,000} \times 2\,000 = 10.3 \text{ 分度}$$

从总角读数中减去按每 2 000 (N·mm) 对应的比例扭角为 10.3 分度这样计算的比例扭角部分, 即可得非比例扭角部分。

由于要测定的规定非比例扭转强度 $\tau_{p0.015}$, 其规定的非比例切应变为 0.015%, 所对应的扭转计分度数为:

$$\left(2 \times 0.015\% \times \frac{L_e}{d_0}\right) / 0.000\,25 = \left(2 \times \frac{0.015}{100} \times \frac{100.0}{10.00}\right) / 0.000\,25 = 12.0 \text{ 分度}$$

从表 C.1 中读出最接近非比例扭角为 12.0 分度时对应的扭矩为 52 000 (N·mm), 用内插法求出精确的扭矩值为:

$$T_{p0.015} = \frac{(17.4 - 12.0) \times 52\,000 + (12.0 - 6.7) \times 54\,000}{(17.4 - 6.7)} = 52\,990.65 \text{ MPa}$$

则得:

$$\tau_{p0.015} = \frac{T_{p0.015}}{W} = \frac{52\,990.65}{196.35} = 269.879 \text{ MPa}$$

修约后为:

$$\tau_{p0.015} = 270 \text{ MPa}$$

GB/T 10128—2007

参 考 文 献

GB/T 12160 单轴试验用引伸计的标定(GB/T 12160—2002,ISO 9513:1999,IDT)
