

高等学校试用教材

金属力学性能实验

大连铁道学院 戴雅康 主编

GAO DENG XUE
XIAO JIAO CAI

机械工业出版社

高等学校试用教材

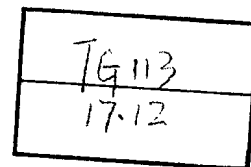
金属力学性能实验

大连铁道学院 戴雅康 主编



410713

机械工业出版社



本书编写了八个实验,即金属拉伸试验、金属扭转试验、金属硬度试验、低温系列冲击试验、金属平面应变断裂韧度 K_{Ic} 试验、金属疲劳试验、金属疲劳裂纹扩展速率试验和金属磨损试验。全书内容分两章:第一章按最新国家标准详细阐述每一项实验中金属力学性能指标的测试原理和方法,并对教学实验方案提出建议;第二章集中介绍常用的金属力学性能试验设备和仪器的构造原理、技术要求、操作方法和使用注意事项。书末列有附录,汇集有关金属力学性能试验的资料与表格。

本书为高等工科院校金属材料及热处理专业金属力学性能课程实验指导用书,也可用于指导本科生和研究生的毕业论文试验工作。还可供从事金属材料研究、生产和力学性能试验的工程技术人员参考。

金属力学性能实验

大连铁道学院 戴雅康 主编

*

责任编辑:丁孝模 版式设计:王颖

责任印制:王国光 责任校对:熊天荣

*

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $7 \frac{3}{4}$ ·字数187千字

1991年5月北京第一版·1991年5月北京第一次印刷

印数 0,001—4,000·定价:2.10元

*

ISBN 7-111-02591-1/TG·585 (课)

前 言

“金属力学性能”是高等工科院校金属材料及热处理专业的一门必修专业课。通过本课程的教学不仅要求学生了解金属变形与断裂的基本理论、金属各种力学性能指标的物理意义、工程意义、影响因素及相互关系，而且还应掌握主要力学性能指标的测试方法。因此，在本门课程的教学必须安排实验，以培养学生正确掌握测定各种主要力学性能指标的能力。

本书是根据1983年11月高等工业学校金属材料及热处理专业教材编审委员会制定的“金属力学性能”课程教学大纲中有关实验的要求编写的。共编写了八个实验。其中五个必开实验（金属拉伸试验、金属硬度试验、低温系列冲击试验、金属平面应变断裂韧性 K_{IC} 试验和金属疲劳裂纹扩展速率试验），三个选开实验（金属扭转试验、金属疲劳试验和金属磨损试验）。全书内容分为两个部分，第一部分为实验原理和方法，详细阐述每一项实验中金属力学性能指标的测试原理、试样的形状、尺寸及加工要求和试验方法，并对实验方案提出建议。第二部分为实验设备和仪器，将测定金属力学性能用的各类试验机、硬度计以及试验力和变形的测量和记录仪器集中在一起，介绍其构造原理、技术要求、操作方法和使用注意事项。书末列有附录，汇集有关金属力学性能试验的资料与表格。

本书在编写过程中力求处理好以下两个关系：一是金属力学性能指标的测试方法与实验方案设计的关系。在每项实验中，详尽阐述力学性能指标的测试原理和方法，使读者在了解其测试原理的基础上，正确掌握测试方法，要求获得可靠的、能在生产及科研中应用的性能数据。而每个实验的实验方案则根据教学大纲的要求与学时来设计，提出明确的实验目的，推荐合理的试样材料与仪器设备，确定可行的实验方法与步骤，提出对实验报告的要求。以求在规定学时内顺利完成实验任务，并作出一定的结果。二是金属力学性能指标的测试方法与所用设备和仪器的关系。本书以阐述测试方法为主，介绍设备和仪器为辅。由于各院校和生产单位所用试验设备和仪器的型号不尽相同，而且同一种试验设备和仪器往往在不同的实验中都要用到。因此，本书将金属力学性能实验用的设备和仪器集中在一起，选择各单位最常用的和较新的型号作简单介绍，使读者在了解其结构和工作原理的基础上，能正确掌握操作方法，以保证设备、仪器的安全使用和获得准确可靠的试验数据。

近年来，我国制定和修订了很多金属力学性能试验方法国家标准，这些标准大部分都达到了国际先进标准水平，标准内容具有新的特色。本书中各个实验将以这些最新国家标准为依据，介绍各种力学性能试验方法。

参加本书编写的有：天津大学张梦熊（第一章实验四、六、八）、大连铁道学院刘世程（第一章实验五）及戴雅康（第一章实验一、二、三、七及第二章和附录），全书由戴雅康主编，天津大学陈敏熊主审。

安徽工学院束德林、西安交通大学金志浩、大连理工大学高守义、江苏工学院罗启富、北京钢铁研究总院梁新邦等同志在百忙之中认真审阅了书稿，提出了宝贵意见，北京钢铁研究总院十一室标准组的同志为本书提供了很多资料，兄弟院校老师及大连铁道学院教材科及

热处理实验室王莎莎同志对本书的出版给予很大支持和帮助，编者对此表示衷心地感谢。

由于编者学识水平有限，编写时间仓促，书中缺点错误在所难免，敬希读者批评指正。

戴雅康

1990年4月于大连

目 录

第一章 实验原理和方法	1
实验一 金属拉伸试验	1
一、金属拉伸性能指标测试方法	1
二、拉伸试验的试样	9
三、推荐实验方案	12
实验二 金属扭转试验	13
一、金属扭转性能指标测试方法	13
二、扭转试验的试样	20
三、推荐实验方案	20
实验三 金属硬度试验	22
一、金属硬度试验方法	22
二、对硬度试验用试样的要求	28
三、硬度试验操作要点与试验结果的 处理	28
四、推荐实验方案	29
实验四 低温系列冲击试验	30
一、金属冲击试验方法	30
二、金属冷脆转变温度 t_K 及低温系列冲击 试验方法	32
三、推荐实验方案	36
实验五 金属平面应变断裂韧度 K_{Ic} 试验	37
一、断裂韧度 K_{Ic} 测试的基本原理	37
二、 K_{Ic} 试验用的试样	37
三、试验装置	39
四、试验程序和方法	40
五、试验结果的分析及处理	41
六、推荐实验方案	42
实验六 金属疲劳试验	43
一、疲劳抗力指标及其测试方法	43
二、疲劳试验结果的统计处理及 $P-S-N$ 曲线的绘制	47
三、疲劳试验类型及其装置	49
四、疲劳试样及其制备	50
五、推荐实验方案	52
实验七 金属疲劳裂纹扩展速率试验	53
一、疲劳裂纹扩展速率 da/dN 的测试原理	53
二、试样及其制备方法	55
三、试验程序	55
四、试验结果的处理和计算	56
五、推荐实验方案	58
附件 七点递增多项式数据处理的 BASIC 计算程序	59
实验八 金属磨损试验	62
一、磨损试验原理及其装置	62
二、试样形状及尺寸	63
三、耐磨性能的评定方法	64
四、推荐实验方案	65
第二章 实验设备和仪器	68
第一节 材料试验机	68
一、液压式万能试验机	68
二、电子万能试验机	72
三、扭转试验机	73
四、摆锤式冲击试验机	75
五、疲劳试验机	78
第二节 硬度计	81
一、布氏硬度计	81
二、洛氏硬度计	85
三、维氏硬度计	87
四、显微硬度计	90
五、对硬度计的技术要求	93
第三节 试验力与变形的测量和记录仪器	94
一、力传感器	94
二、引伸计及位移传感器	95
三、动态电阻应变仪	102
四、X-Y 函数记录仪	103
附录	105
附录一 常用金属力学性能试验方法国家标 准及其适用范围	105
附录二 新、旧标准中常用金属力学性能指 标对照表	107
附录三 金属布氏硬度数值表	108
附录四 金属维氏硬度数值表	109
附录五 金属显微维氏硬度数值表	112
附录六 在曲面上测定硬度值的修正	116
附录七 数字修约规则	119
附录八 表面粗糙度与表面光洁度符号对照 表	120

第一章 实验原理和方法

实验一 金属拉伸试验

一、金属拉伸性能指标测试方法

金属拉伸试验是金属材料力学性能测试中最重要的方法之一。

根据GB228—87《金属拉伸试验方法》的规定，对一定形状的试样施加轴向试验力 F 拉至断裂，便可测出表征金属材料的物理屈服性能指标（屈服点 σ_s 、上屈服点 σ_{su} 、下屈服点 σ_{sL} ）、规定微量塑性伸长应力指标（规定非比例伸长应力 σ_p 、规定总伸长应力 σ_t 、规定残余伸长应力 σ_r ）、强度性能指标（抗拉强度 σ_b ）及塑性性能指标（断后伸长率 δ 、屈服点伸长率 δ_s 、最大力下的总伸长率 δ_{gt} 、最大力下的非比例伸长率 δ_g 和断面收缩率 ψ ）。这些性能指标的工程定义及测试方法如下。

（一）物理屈服性能指标

具有物理屈服现象的金属材料，其拉伸曲线的类型如图1-1所示。据此，可对各项物理屈服性能指标作如下定义：

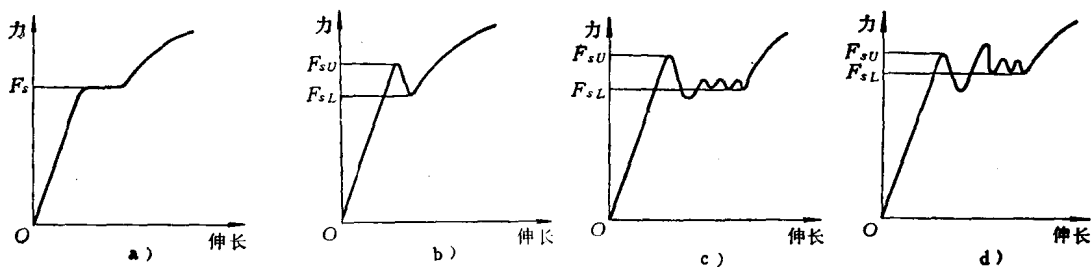


图1-1 具有物理屈服现象金属材料的拉伸曲线

a) 具有屈服平台的曲线 b)、c)、d) 具有上、下屈服点的曲线

屈服点 σ_s 试样在拉伸试验过程中试验力不增加（保持恒定）仍能继续伸长时的应力。其拉伸曲线如图1-1 a 所示。若试样原始横截面积为 S_0 ，则

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0} \quad (1-1)$$

如果在屈服过程中试验力发生下降（图1-1 b、c、d），则应区分上、下屈服点。

上屈服点 σ_{su} 试样发生屈服而试验力首次下降前的最大应力。

$$\sigma_{su} = \frac{F_{su}}{S_0} \quad (1-2)$$

下屈服点 σ_{sL} 当不计初始瞬时效应（指在屈服过程中试验力第一次发生下降）时屈服阶段中的最小应力。

$$\sigma_{sL} = \frac{F_{sL}}{S_0} \quad (1-3)$$

一般在无特殊要求的情况下，只测定屈服点或下屈服点。

F_s 、 F_{su} 和 F_{Ll} 等试验力值可用两种方法来测定。

(1) 图解法 试验时用自动记录装置绘制力-伸长曲线图(见图1-1)或力-夹头位移曲线图。然后从曲线上确定出相应的试验力值。为了准确起见,要求自动记录装置具有足够大的放大比例。一般力轴每毫米所代表的应力不大于 10N/mm^2 ,伸长或夹头位移放大倍数可根据达到屈服阶段的伸长(或夹头位移)量进行选择,应使曲线至少绘制到屈服阶段结束。

(2) 指针法 试验时观察拉伸试验机测力度盘的指针,当指针停止转动时的恒定力或指针首次回转前的最大试验力,或不计初始瞬时效应的最小试验力,即分别为 F_s 、 F_{su} 和 F_{Ll} 。

(二) 规定微量塑性伸长应力指标

在旧标准(GB228—76《金属拉力试验法》)中,有“规定比例极限 $\sigma_{p0.01}$ ”“规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.01}$ ”等性能指标。对于没有明显物理屈服现象的金属材料,还规定有“屈服强度 $\sigma_{0.2}$ ”指标。这些性能指标实质上都表征金属材料对微量塑性变形的抗力,只是定义这些指标的微量塑性伸长率不同而已。因此,在新的《金属拉伸试验方法》(GB228—87)国家标准中将这三个指标统一起来,都称为“规定微量塑性伸长应力”。按照测定方法不同,可分为“规定非比例伸长应力 σ_p ”、“规定残余伸长应力 σ_r ”及“规定总伸长应力 σ_t ”三种。

(1) 规定非比例伸长应力(σ_p) 试样标距部分的非比例伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。所谓非比例伸长是指超出试验力与伸长成正比范围以外的伸长。在图1-2中,当试验力为 F 时 $\overline{ab}$ 段为比例伸长, $\overline{bc}$ ($\overline{OD}$)段为非比例伸长。这种应力是在试样受力的条件下测定的,反映材料在试验力作用下抵抗微量塑性变形的抗力。表示这种应力的符号应附以角注,以表明规定非比例伸长率之值。例如, $\sigma_{p0.01}$ 、 $\sigma_{p0.05}$ 、 $\sigma_{p0.2}$ 等分别表示规定非比例伸长率 ϵ_p 为0.01%、0.05%和0.2%时的应力。

(2) 规定残余伸长应力(σ_r) 试样卸力后,其标距部分的残余伸长(如图1-2中 $\overline{OE}$ 段)达到规定的原始标距百分比时的应力。与上述相同, $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率 ϵ_r 为0.2%时的应力。

一般可将 $\sigma_{p0.01}$ (或 $\sigma_{r0.01}$)作为条件比例极限,将 $\sigma_{p0.2}$ (或 $\sigma_{r0.2}$)作为屈服强度。

必须指出,对于同一试样,在规定伸长率相同的条件下所测定的 σ_p 和 σ_r 一般并不相同。这是因为,规定非比例伸长应力 σ_p 是在试验力作用下测定的,其非比例伸长包括滞弹性伸长部分和塑性伸长部分。而规定残余伸长应力 σ_r 是在卸力后测定的,滞弹性部分随试验力卸除而消失,甚至随试验力卸除后的时间延长,其塑性伸长由于受到加力时不均匀塑性变形所产生的第一、二类残余内应力的反作用,也消失一部分。因此,在拉伸曲线上表现为卸力线并不完全平行于加力线的弹性直线段,而是朝向原点方向微弯(见图1-2)。对于大多数金属材料来说,这两种应力差别很小,可以忽略不计。但对少数金属材料则差别较大,如GCr15、1Cr18Ni9Ti等材料的 $\sigma_{p0.2}$ 与 $\sigma_{r0.2}$ 之差最大可达2.2%。因此,应将 σ_p 与 σ_r 当作两种性能指标来看待。如果某种金属材料的 σ_p 与 σ_r 差别不大,或对测试方法没有提出要求时,这两个性能指标也可不加区别。此时对于屈服强度,可不必区分 $\sigma_{p0.2}$ 或 $\sigma_{r0.2}$,统一写成 $\sigma_{0.2}$ 。

(3) 规定总伸长应力(σ_t) 试样标距部分的总伸长(包括比例伸长和非比例伸长,见图1-2中 $\overline{ac}$ 或 $\overline{OG}$ 段)达到规定的原始标距百分比时的应力。表示此应力的符号也应附以角注,以表明规定总伸长率 ϵ_t 之值。例如 $\sigma_{t0.5}$ 表示规定总伸长率 ϵ_t 为0.5%时的应力。

由图1-2可见,规定总伸长 $\overline{ac}$ 与规定非比例伸长 $\overline{bc}$ 之间相差弹性比例伸长 $\overline{ab}$ 。如果通过实验或计算方法求得在规定非比例伸长率时的弹性比例伸长率的大小,则可相应地用规定总

增量的计算方法。

现以测定某钢材 $\sigma_{p0.01}$ 为例,说明逐级施力法的具体测定过程。

采用圆柱试样,直径 $d_0=10\text{mm}$,原始横截面积 $S_0=78.5\text{mm}^2$ 。

所用引伸计为百分表式。表盘一分格为 0.002mm (即放大倍数 $n=500$),标距 $L_e=50\text{mm}$ 。

测定 $\sigma_{p0.01}$ 所要求的非比例伸长为 $50 \times 0.01\% = 0.005\text{mm}$,折合引伸计表盘的分格数为 $0.005/0.002=2.5$ 分格。

试验机最大试验力为 600kN ,选用度盘的测力范围为 $0 \sim 120\text{kN}$ 。

材料预期规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.01} \approx 600\text{N/mm}^2$,相应于此应力值 10% 的预试验力为:

$$\begin{aligned} F_0 &= 10\% \times \sigma_{p0.01} \times S_0 \\ &= 0.1 \times 600\text{N/mm}^2 \times 78.5\text{mm}^2 \\ &= 4710 \text{ N} \end{aligned}$$

化整后取 5000N 。

对试样施加预试验力后,装卡引伸计,其条件零点在10分格上。

相当于预期规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.01}$ 的 80% 的力为:

$$\begin{aligned} F &= 80\% \times \sigma_{p0.01} \times S_0 \\ &= 0.8 \times 600\text{N/mm}^2 \times 78.5\text{mm}^2 \\ &= 37680 \text{ N} \end{aligned}$$

化整后取 37000N 。

从 F_0 到 F 分成四个大等级力 ΔF ,其值为:

$$\Delta F = \frac{(37000 - 5000)}{4} \text{ N} = 8000 \text{ N}$$

以后的试验力按小等级力 ΔF_1 增加。若取 $\Delta\sigma = 25\text{N/mm}^2$,则小等级力值为: $\Delta F_1 = \Delta\sigma \times S_0 = 25\text{N/mm}^2 \times 78.5\text{mm}^2 = 1960\text{N}$,化整后取 2000N 。

每次施力后从引伸计上读出相应的伸长值。试验结果记入表1-1。由表可见,在第6次施力以前,力与伸长读数之间大体上呈直线关系。由此计算出相应于小等级力 ΔF_1 的平均弹性伸长增量为:

$$\Delta L_{2000} = \frac{(64.0 - 10.0) \times 2000}{41000 - 5000} \text{ 分格} = 3.0 \text{ 分格}$$

然后,在第6次施力的伸长读数基础上,按每增加一小等级力 ΔF_1 (2000N)平均增加 3.0 分格,来计算试样各级力的弹性伸长。

从各级力的总伸长读数中减去计算所得的弹性伸长即为非比例伸长。

由表1-1可见,规定非比例伸长 2.5 分格在计算非比例伸长 1.5 分格与 4.5 分格之间,试验力在 45000N 与 47000N 之间。在这种情况下可用内插法求出相当于 2.5 分格的力 $F_{p0.01}$ 即

$$\begin{aligned} F_{p0.01} &= 45000 \text{ N} + \frac{(47000 - 45000) \text{ N} \times (2.5 - 1.5)}{4.5 - 1.5} \\ &= 45667 \text{ N} \end{aligned}$$

相应的规定非比例伸长应力 $\sigma_{p0.01}$ 为:

表1-1 用逐级施力法测定某钢材 $\sigma_{p0.01}$ 的试验记录

加力次序	加力等级	试验力 N	引伸计读数 (分格)	引伸计读数增 量(分格)	计算弹性伸长 (分格)	计算非比例伸长 (分格)
	预试验力 F_0	5000	10.0	0		
1	大等级力	13 000	22.5	12.5	平均每增加2000N试验力, 弹性伸长增量为 3.0 分格即 $\Delta L_{2000} = 3.0$	
2	$\Delta F = 8000 \text{ N}$	21 000	34.5	12.0		
3		29 000	46.0	11.5		
4		37 000	58.0	12.0		
5	小等级力	39 000	61.0	3.0	64.0 + 3.0 = 67.0 67.0 + 3.0 = 70.0 70.0 + 3.0 = 73.0 73.0 + 3.0 = 76.0	67.5 - 67.0 = 0.5 71.5 - 70.0 = 1.5 77.5 - 73.0 = 4.5 86.0 - 76.0 = 10.0
6	$\Delta F_1 = 2000 \text{ N}$	41 000	64.0	3.0		
7		43 000	67.5	3.5		
8		45 000	71.5	4.0		
9		47 000	77.5	6.0		
10		49 000	86.0	8.5		

$$\begin{aligned}
 \sigma_{p0.01} &= \frac{F_{p0.01}}{S_0} \\
 &= \frac{45\,667 \text{ N}}{78.5 \text{ mm}^2} \\
 &= 581.7 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

数字修约后为 $\sigma_{p0.01} = 580 \text{ N/mm}^2$ 。

(2) 规定残余伸长应力 σ_r 的测定 规定残余伸长应力是在卸力条件下测定的, 因此, 只能借助引伸计用卸力法来测定。此法也称为逐级增加伸长量法。为使试样和引伸计系统始终处于工作状态, 在实际测定时, 一般不可将力完全卸除, 而是以一定的预试验力 F_0 为基准。

试验时, 首先对试样施以约为预期规定残余伸长应力10%的预试验力 F_0 , 然后装上引伸计。继续施力至 $2F_0$, 再卸至 F_0 , 如果引伸计转动灵活, 则调节引伸计零点或记下条件零点。此后, 便可卸力法测定规定残余伸长力 F_r 。

已知规定残余伸长率为 ε_r , 则从 F_0 起第1次加力至使试样在引伸计标距长度 L 内产生的总伸长量为 $nL\varepsilon_r + (1 \sim 2)$ 分格。式中第一项为规定残余伸长量在引伸计上的分格数, 第二项为估计的弹性伸长量。然后卸力至 F_0 , 从引伸计上读出首次施力使试样产生的残余伸长量。以后每次施力应使试样产生的总伸长量为: 前一次的总伸长量加上规定残余伸长量与已产生的残余伸长量之差, 再加上 $1 \sim 2$ 分格的弹性伸长增量。这样的计算方法, 可以保证在较少的加、卸力次数下得到试验结果, 不致使试样的残余伸长量大大超过规定值。试验直至实测的残余伸长量等于或稍大于规定值为止。最后根据试验记录用内插法求出相应于规定残余伸长量时的力 F_r , 按式(1-5)计算出规定残余伸长应力 σ_r 。

$$\sigma_r = \frac{F_r}{S_0} \quad (1-5)$$

由此可见, 掌握卸力法的关键在于了解每次施力时试样应达到的总伸长量的计算方法。现以测定某钢材的规定残余伸长应力 $\sigma_{r0.2}$ 为例, 说明卸力法的具体测定过程。

已知试样直径 $d_0 = 10 \text{ mm}$, 则 $F_0 = 78.5 \text{ mm}^2$ 。所用引伸计标距为 50 mm , 每一分格为

0.01mm。测定 $\sigma_{r,0.2}$ 所要求的引伸计标距内的残余伸长量为 $50\text{mm} \times 0.2\% = 0.1\text{mm}$ ，折合引伸计分格数为 $0.1\text{mm} \div 0.01\text{mm} = 10$ 分格。

所用试验机最大试验力为600kN，选用度盘的测力范围为0~120kN。

该钢材预期规定残余伸长应力 $\sigma_{r,0.2} \approx 800\text{N/mm}^2$ ，相应于此应力值10%的预试验力为：

$$\begin{aligned} F_0 &= 10\% \times \sigma_{r,0.2} \times S_0 \\ &= 0.1 \times 800\text{N/mm}^2 \times 78.5\text{mm}^2 \\ &= 6280 \text{ N} \end{aligned}$$

化整后取为6000N，设在此预试验力下引伸计的条件零点为1分格。

现用卸力法来求 $F_{r,0.2}$ 。

从 F_0 起第1次加力应使试样在引伸计标距内产生的总伸长（相当于引伸计上的分格数）为： $10 + (1 \sim 2) = 11 \sim 12$ 分格，现取12分格。由于条件零点为1分格，故总计为13分格。当加力至引伸计指针指至13分格时，试验力为41000N。然后卸力至 F_0 ，引伸计上的读数为2.3分格，即残余伸长量为1.3分格。此值远较所要求的10分格为小，因而需继续加力，使试样进一步增大变形量。

第2次加力时，应使引伸计达到的读数为：在上次总伸长量为13分格的基础上，加上规定残余伸长10分格与已产生残余伸长1.3分格之差，再加上1~2分格弹性伸长增量，即 $13 + (10 - 1.3) + 2 = 23.7$ 分格。此时相应的试验力为57000N。然后再卸力至 F_0 ，得到7.3分格的残余伸长。所以第3次加力应使引伸计达到读数为： $23.7 + (10 - 7.3) + 1 = 27.4$ 分格。

试验直至试样的残余伸长达到或稍超过10分格为止。试验数据记于表1-2中。

表1-2 用卸力法测定某钢材 $\sigma_{r,0.2}$ 的试验记录

加力次序	加力时引伸计读数（分格）	试验力 N	卸力至 F_0 时，引伸计读数 （分格）	残余伸长量（分格）
预试验力 F_0	1.0（条件零点）	6000	—	—
1	13.0	41000	2.3	1.3
2	23.7	57000	8.3	7.3
3	27.4	61000	10.7	9.7
4	28.7	62000	11.5	10.5

由表1-2中查出残余伸长量最接近10分格的力值为61000N，用内插法可求出更精确的 $F_{r,0.2}$ 值为：

$$\begin{aligned} F_{r,0.2} &= 61000 + \frac{(62000 - 61000)\text{N} \times (10 - 9.7)}{(10.5 - 9.7)} \\ &= 61375 \text{ N} \end{aligned}$$

从而得到：

$$\begin{aligned} \sigma_{r,0.2} &= \frac{F_{r,0.2}}{S_0} = \frac{61375\text{N}}{78.5\text{mm}^2} \\ &= 781.8 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

修约后为： $\sigma_{r,0.2} = 780 \text{ N/mm}^2$

(3) 规定总伸长应力 σ_t 的测定 可用以下两种方法:

1) 图解法。在拉伸过程中自动记录绘制力-伸长曲线,如图1-4所示。其力轴比例与测 σ_s 相同,而伸长放大倍数一般应不小于50倍。在图1-4上自原点O起截取相应于规定总伸长的 $\overline{OE}$ 段($\overline{OE} = nL_0\epsilon_t$, ϵ_t 为规定总伸长率)。过E点作力轴的平行线 $\overline{EA}$ 交拉伸曲线于A点,A点所对应的 F_t 即为所欲测的试样达到规定总伸长时的力值。规定总伸长应力 σ_t 按式(1-6)计算:

$$\sigma_t = \frac{F_t}{S_0} \quad (1-6)$$

2) 引伸计法。试验时在试样上装卡引伸计。在拉伸过程中当引伸计指出试样达到规定总伸长时,从测力度盘上读出相应的力 F_t ,再按式(1-6)计算出 σ_t 。

(三) 抗拉强度 σ_b

抗拉强度为试样拉断过程中最大试验力所对应的应力。从拉伸曲线图上的最高点可确定试验过程中的最大力 F_b 。(见图1-5),或从试验机的测力度盘上读取最大力 F_b 。抗拉强度 σ_b 按式(1-7)计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0} \quad (1-7)$$

(四) 塑性性能指标

塑性性能指标主要是“断后伸长率 δ ”和“断面收缩率 ψ ”。对某些金属材料(如冲压用钢板),往往还要求测定“屈服点伸长率 δ_s ”“最大试验力下的总伸长率 δ_{gt} ”及“最大试验力下的非比例伸长率 δ_g ”。这些指标的定义如下:

断后伸长率 δ 试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比。

屈服点伸长率 δ_s 试样从开始屈服至屈服阶段结束(加工硬化开始)之间标距的伸长 $\overline{OF}$ (见图1-6 a)与原始标距的百分比。

最大试验力下的非比例伸长率 δ_g 试样拉到最大力时,标距的非比例伸长 $\overline{OJ}$ (见图1-6 b)与原始标距的百分比。

最大试验力下的总伸长率 δ_{gt} 试样拉到最大试验力时,标距的总伸长 $\overline{OI}$ (图1-6 b)与原始标距的百分比。

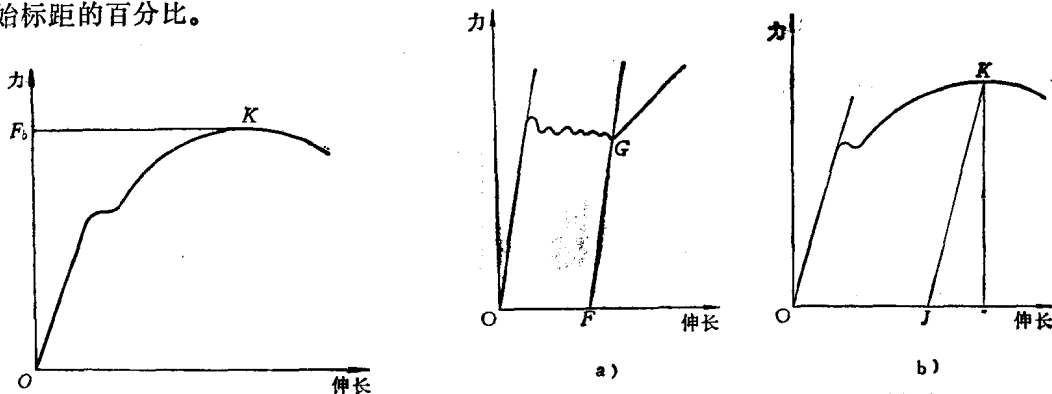


图1-5 测定 σ_b 的图解法

图1-6 伸长率的定义及图解测定法

a) 屈服点伸长率 b) 最大试验力下的总伸长率和非比例伸长率

断面收缩率 ψ 试样拉断后, 颈缩处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比。其测定方法分述如下:

(1) 断后伸长率 δ 的测定 δ 是在试样拉断后测定的。将试样断裂部分在断裂处紧密对接在一起, 尽量使其轴线位于一直线上, 测出试样断裂后标距间的长度 L_1 , 则断后伸长率的计算式为:

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-8)$$

由于试样断裂位置对 δ 的大小有影响, 其中以断在正中的试样, 其伸长率最大。因此, 断后标距 L_1 的测量方法根据断裂位置不同而异, 有如下两种:

1) 直测法。如断裂处到最邻近标距端点的距离大于 $L_0/3$ 时, 可直接测量标距两端点间的距离。

2) 移位法。如断裂处到最邻近标距端点的距离小于或等于 $L_0/3$ 时, 则用移位法将断裂处移至试样中部来测量。其方法如图1-7所示。

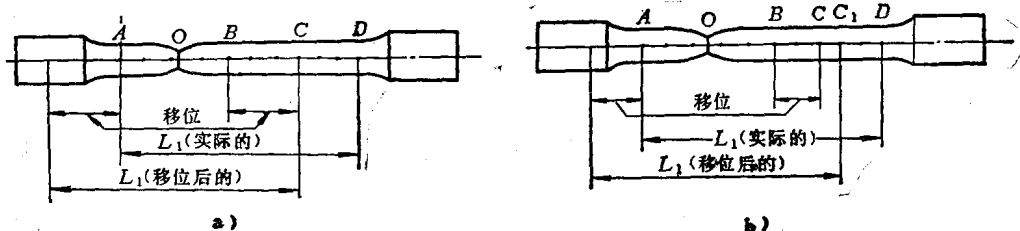


图1-7 用移位法测量 L_1

a) 余格为偶数 b) 余格为奇数

在断裂试样的长段上从断裂处 O 取基本等于短段格数, 得 B 点 (OB 近似等于 OA)。接着取等于长段所余格数 (偶数, 图1-7 a) 的一半得 C 点, 或取所余格数 (奇数, 图1-7 b) 分别减 1 与加 1 的一半得 C 和 C_1 点。移位后的 L_1 分别为: $AO + OB + 2BC$ 和 $AO + OB + BC + BC_1$ 。

(2) 屈服点伸长率 δ_s 、最大试验力下的总伸长率 δ_{gt} 和最大试验力下的非比例伸长率 δ_g 的测定 这三个指标只能用图解法测定。用自动记录装置绘制力-伸长曲线图时, 选择适当的力轴和伸长轴放大比例, 所使用的位移传感器标距 L_e 应尽可能等于试样原始标距。在图1-6 a 所示的曲线上, 自屈服阶段结束点 G 作弹性直线段平行线 $\overline{GF}$, 交伸长轴于 F 点。测量 $\overline{OF}$ 之长, 即可按式 (1-9) 计算出屈服点伸长率:

$$\delta_s = \frac{\overline{OF}}{nL_e} \times 100\% \quad (1-9)$$

在图1-6 b 中, 自曲线最大力点 K 分别作力轴和弹性直线段的平行线 $\overline{KI}$ 和 $\overline{KJ}$, 交伸长轴于 I 和 J 点, 测量 $\overline{OI}$ 与 $\overline{OJ}$ 之长, 即可按式 (1-10)、(1-11) 分别算出最大试验力下的总伸长率 δ_{gt} 和非比例伸长率 δ_g :

$$\delta_{gt} = \frac{\overline{OI}}{nL_e} \times 100\% \quad (1-10)$$

$$\delta_g = \frac{\overline{OJ}}{nL_e} \times 100\% \quad (1-11)$$

(3) 断面收缩率 ψ 的测定 ψ 也是在试样断裂后测定的。只要测出颈缩处最小横截面积 S_1 ，则可按式 (1-12) 算出 ψ 值：

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\% \quad (1-12)$$

S_1 的确定方法 对于圆形试样，在缩颈最小处两个互相垂直的方向上测量其直径，用两者的算术平均值计算出 S_1 ；对于矩形试样，则用缩颈处的最大宽度 b_1 乘以最小厚度 a_1 求得，见图1-8。

为了准确测出上述各项拉伸性能指标，对于试验速度和试验温度有如下规定：

1) 试验速度。反映了试样应变速率的大小。应变速率增大，金属的强度增加。特别是屈服点和规定微量塑性伸长应力对应变速率的变化更为敏感。因此，对拉伸试验速度应注意控制。

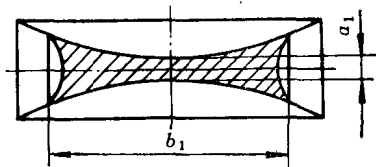


图1-8 矩形试样 S_1 的测量方法

测定 σ_s 和 σ_{su} 时屈服前的拉伸速度以及测定 σ_p 、 σ_t 和 σ_b 时弹性范围内的拉伸速度常以应力速率 $\dot{\sigma}$ [单位为 $\text{N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$] 来表示。对于弹性模量 $< 150\,000 \text{ N/mm}^2$ 的金属材料， $\dot{\sigma} = 1 \sim 10 \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ ；若弹性模量 $\geq 150\,000 \text{ N/mm}^2$ ，则 $\dot{\sigma} = 3 \sim 30 \text{ N}/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ 。但在屈服过程中由于应力近似于恒定甚至下降，故无法再用 $\dot{\sigma}$ 来控制拉伸速度。此时，可采用试样平行长度内的应变速率 $\dot{\epsilon}$ (单位为 $1/\text{s}$) 来控制。它大体上相当于试验机夹头移动速率。在测下屈服点时，一般规定 $\dot{\epsilon}$ 应控制在 $0.000\,25 \sim 0.0025/\text{s}$ 范围内。如不能直接控制应变速率，也可采用调节屈服前的应力速率的方法，使之不超过上述规定值，将其固定，直至屈服阶段结束。

对于一般液压式万能试验机由于不能自动控制 $\dot{\sigma}$ 或 $\dot{\epsilon}$ ，因此，试验时应在屈服前控制送油量的大小，用秒表估算应力速率，使之不超过规定值。

屈服过后或只需测定 σ_b 时，由于试验速度的影响较小，因此可加快试验速度。此时一般采用控制试验机夹头的移动速率的方法，使之不超过 $0.5 L_0/\text{min}$ 。

2) 试验温度。一般应在 $10 \sim 35^\circ\text{C}$ 的温度下进行。

以上所测得各项性能数值，按表1-3的规定进行修约。

表1-3 拉伸性能数值的修约

性能指标	范 围	修 约 到	性能指标	范 围	修 约 到
$\sigma_p, \sigma_r, \sigma_t$	$\leq 200 \text{ N/mm}^2$	1 N/mm^2	δ	$\leq 10\%$	0.5%
$\sigma_s, \sigma_{su}, \sigma_{sL}$	$> 200 \sim 1000 \text{ N/mm}^2$	5 N/mm^2		$> 10\%$	1%
σ_b	$> 1000 \text{ N/mm}^2$	10 N/mm^2	ψ	$< 25\%$	0.5%
$\delta_s, \delta_g, \delta_{gt}$		0.1%		$> 25\%$	1%

二、拉伸试验的试样

1. 试样的形状和尺寸

根据金属制品的品种、规格及试验目的的不同，可将材料加工成横截面为圆形、矩形或异形拉伸试样，以及不经加工的全截面形状的试样。其中以圆形及矩形截面试样最常用。这两种试样的形状及表面粗糙度如图1-9 a 及 b 所示，图中 L_0 为平行部分长度，各种试样的主要尺寸及允许偏差分别见表1-4和表1-5。

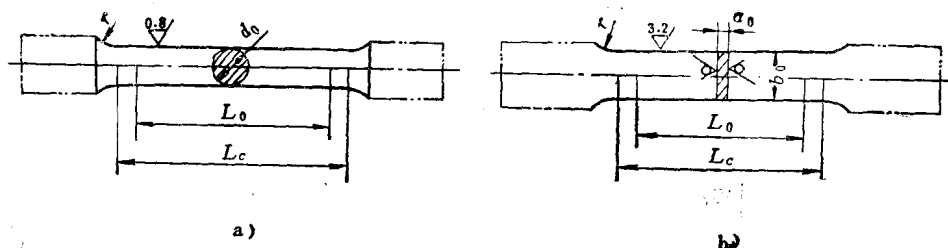


图1-9 拉伸试样的形状及对表面粗糙度的要求

a) 圆形试样 b) 矩形试样

表1-4 圆形试样的主要尺寸及允许偏差

(单位为mm)

试样直径 d_0	标距部分内 d_0 的允许偏差	标距部分内最大 与最小直径的允 许差值	标距长度 L_0		平行部分长度 L_c	圆弧半径 r	
			短试样	长试样		单、双肩	螺 纹
3	± 0.05	0.01	$5d_0$	$10d_0$	$\geq L_0 + d_0$	2	2
5	± 0.1	0.02				3	3.5
6						3	3.5
8						3	4
10	± 0.2	0.05				4	5
15						4	7.5
20						5	10
25						5	12.5

表1-5 矩形试样的主要尺寸及允许偏差

(单位为mm)

试样厚度 a_0	试样宽度 b_0	标距部分内 b_0 的允许偏差	标距部分内最大 与最小 b_0 的 允许差值	标距长度 L_0		平行部分长度 L_c	圆弧半径 r	
				短 试 样	长 试 样			
0.1~<1.0	10	± 0.2	0.1	$5.65\sqrt{S_0}$	$11.3\sqrt{S_0}$	$\geq L_0 + \frac{b_0}{2}$	25~40	
0.1~<6.0	12.5			取最接近5的 整倍数	取最接近10的 整倍数			
1.0~<4.0	15							
0.5~12	20	± 0.5	0.2					
4.5~25	25 30							

根据拉伸试样标距长度 L_0 与横截面积 S_0 之间的关系, 可分为比例标距试样和定标距试样两种。比例标距试样的标距是按公式 $L_0 = K\sqrt{S_0}$ 计算而得, 系数 K 通常取 5.65 或 11.3 (在特殊情况下, K 也可取 2.82、4.52 或 9.04)。前者称为短试样, 后者称为长试样。短、长比例标距试样的标距长度 L_0 分别等于 $5d_0$ 或 $5.65\sqrt{S_0}$ 及 $10d_0$ 或 $11.3\sqrt{S_0}$ 。一般建议采用短试样。定标距试样的原始标距 L_0 与原始横截面积 S_0 或直径 d_0 之间不存在上述比例关系。

短、长比例试样的断后伸长率分别以符号 δ_s 和 δ_{10} 表示。定标距试样的断后伸长率应附以该标距数值的角注。例如 $L_0 = 100\text{mm}$ 或 200mm , 则分别以符号 $\delta_{100\text{mm}}$ 或 $\delta_{200\text{mm}}$ 表示。

试样头部的形状及尺寸应根据材料性能及试验机夹头的形状和结构 (见本书第二章图2-2) 自行设计。当所试材料强度较低时, 对于圆形试样可采用 V 形槽夹头夹持, 试样头部可

① 参阅束德林主编。金属力学性能。北京: 机械工业出版社, 1987(32)。

2. 见 GB10623-89 金属力学性能试验术语。

加工成单肩式 (图1-10 a), 其直径 D 一般为 $(1.5 \sim 2.0)d_0$; 对于板状试样可采用平板夹头夹持, 其头部形状如图1-10 d 所示, 头部宽度 B 约为 $b_0 + 10\text{mm}$ 。这两种试样头部的长度 h 至少应为夹头长度的 $3/4$ 。当所试材料的强度、硬度较高时, 采用上述夹头易于打滑并易将夹头上的齿拉钝。为此, 对于圆形试样可采用带垫环或拉力碗的夹头, 试样头部则加工成双肩式 (图1-10 b); 对于板状试样其头部可带销孔 (图1-10 e) 以便象图1-11那样将试样用销钉装在自制的 $\square$ 形夹具中, 再将 $\square$ 形夹具夹在 V 形槽夹头中进行拉伸。对于脆性材料, 试验时应严格保持试样轴线对中, 此时可采用头部带螺纹的圆形试样 (图1-10 c)。

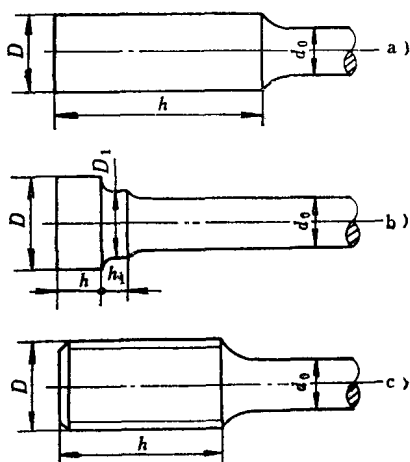


图1-10 试样头部的形状及尺寸

a) 圆形单肩试样 b) 圆形双肩试样 c) 圆形螺纹试样 d) 矩形试样 e) 矩形带销孔试样

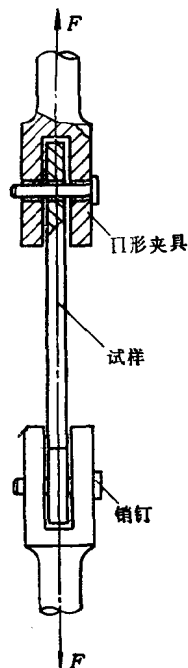


图1-11 矩形带销孔试样装在 $\square$ 形夹具中

圆形双肩试样、圆形螺纹试样的头部尺寸应根据所用试验机夹头而定。矩形带销孔试样的头部尺寸及圆孔直径应自行设计, 表1-6中所列尺寸可供参考。

表1-6 矩形带销孔试样头部尺寸

(单位为 mm)

a_0	b_0	B	h	c	d
$\geq 0.5 \sim 1.0$	15	38	45	22	10
$> 1.0 \sim 2.0$	15	38	45	22	10
$> 2.0 \sim 3.0$	15	38	45	22	10
$> 3.0 \sim 4.0$	15	38	45	22	10
$> 4.0 \sim 5.0$	20	50	60	30	15
$> 5.0 \sim 6.0$	20	50	60	30	15
$> 6.0 \sim 7.0$	20	50	60	30	15

2. 对试样加工的要求

切取试样毛坯和加工时, 应严防冷、热加工对金属力学性能的影响。表面有显著横向刀痕或磨痕、机械损伤、有明显淬火变形或裂纹以及肉眼可见的冶金缺陷的试样, 均不允许用于试验。

3. 试样尺寸的测量

圆形试样横截面的直径及矩形试样横截面的厚度及宽度应在标距的两端及中间处进行测量。选用三处测得的最小值, 计算拉伸性能指标。