



王力民 主编

材料力学 实验指导书

中南工业大学出版社



材料力学实验指导书

王力民 主编

中南工业大学出版社

内 容 提 要

本书是按照高等工业学校材料力学教学大纲中对材料力学实验的要求编写的。全书包括拉伸实验、压缩实验、扭转实验等12个实验。主要内容为测定材料力学性质的实验。书中突出了以电测技术为主线的实验方法。在每个实验项目中，详细地叙述了实验设备、实验原理和实验步骤，并给出了每个实验的报告格式及有关的思考题。

本书可作为工科院校机械类专业材料力学的实验教材，也可供工程技术人员参考。

材料力学实验指导书

王力民 主编

责任编辑：王 新 夏仲海

*

中南工业大学出版社出版发行

中南工业大学出版社印刷厂印装

湖南省新华书店经销

开本：787×1092/16 印张：5.5 字数137千字

1991年4月第1版 1991年4月第1次印刷

印数：0001—8000

*

ISBN 7-81020-361-4/O·057

定价：1.55元

前 言

材料力学实验，是整个材料力学课程教学不可缺少的一部分。它对巩固、加深学生所学的理论知识，提高学生的实验测试能力，培养学生科学处理问题的习惯，都具有十分重要的意义。

材料力学实验，按其性质一般分为三类：一是，验证理论的实验。材料力学中的理论，都是在一定的简化假设之上建立起来的，其正确与否，必须通过生产实际或实验加以验证。本书中测定直梁的弯曲正应力实验，就是这类实验之一；二是，测定材料力学性质的实验。这类实验有拉伸实验、压缩实验、冲击实验等。其目的在于测定材料的屈服极限、强度极限、弹性模量等反映材料力学性质的参数，为评价材质的优劣和为构件设计提供基本依据。由于实验设备、实验方法和条件，对材料所测的数据有明显的影响，因此为了正确地取得这些数据，实验时必须按照有关的国家标准（或部颁标准）中的规定来进行；三是，实验应力分析的实验，因为工程上有很多几何形状和受载情况都十分复杂的构件，这时单靠理论计算是难以确定其应力大小和分布规律的，因此不得不借助实验手段测定这类构件应力与应变问题，即实验应力分析方法，为了使学生初步了解这种新兴而有效的方法，书中介绍了目前最常用的光弹法，以及以电测技术为主线的一些实验内容。

本书由中南工业大学、南方冶金学院和包头钢铁学院的部分力学教师编写的。编写人员有：王力民（实验一、二、四、八），温志明（实验二、七），刘俊卿（实验五、六），邹菊远（实验九、十一），危育蒲（实验十、十二）。

在本书编写过程中，曾经进行过多次讨论、修改，但限于编者水平，书中的错误和欠妥之处，在所难免，希望读者批评指正。

编 者

1991.3

学 生 实 验 守 则

一、按规定的时间进行实验，不得迟到、早退。

二、实验前必须预习实验指导书，了解实验内容：实验目的、实验原理、实验步骤，以及有关的原理和计算公式。

三、以小组为单位进行实验，根据实验内容明确分工，做到有条不紊。

四、认真进行实验操作，细心观察，完整地记录实验数据

五、实验过程中，如设备发生故障，应立即关闭电源，并报告实验指导教师，以便及时处理。

六、实验完毕后，要关闭电源，清理好使用过的机器、仪器和工具，将实验结果交指导教师审阅。

七、要独立完成实验报告，并对思考题进行分析。

目 录

前 言

学生实验守则

实验一 拉伸实验.....	(1)
实验二 压缩实验.....	(10)
实验三 材料弹性常数 E 、 μ 的测定.....	(15)
实验四 扭转实验.....	(27)
实验五 梁弯曲正应力实验.....	(35)
实验六 主应力测定实验.....	(40)
实验七 名义屈服极限的测定.....	(49)
实验八 剪切弹性模量的测定.....	(55)
实验九 冲击实验.....	(58)
实验十 疲劳实验 (示范)	(62)
实验十一 光弹性实验 (示范)	(65)
实验十二 平面应变断裂韧性的测定 (示范)	(69)
附录.....	(76)

实验一 拉伸实验

材料的拉伸实验是检测材料力学性质的最基本的实验。通过这项实验可以全面地观察材料的受力与变形的关系，能够测定材料的强度指标和塑性指标。

一、实验目的

1. 观察低碳钢和铸铁在拉伸过程中的力与变形的关系。利用自动绘图装置绘制拉伸图。
2. 测定低碳钢拉伸时的屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 、伸长率 δ 和截面收缩率 ψ 。
3. 测定铸铁的强度极限 σ_b 。
4. 比较低碳钢（塑性材料）与铸铁（脆性材料）拉伸时的力学性质。
5. 了解万能材料试验机的构造原理和使用方法。

二、实验设备

1. 机器：万能材料试验机。
 2. 量具：游标卡尺、钢板尺。
- 介绍现在常用的两种万能材料试验机。

（一）WE-30型液压万能材料试验机

所谓万能材料试验机，是指这种试验机可以做拉伸、压缩、剪切、弯曲等项实验。这种试验机类型很多，外形也不尽相同，但其构造原理是一样的，如图1-1所示。

（1）构造原理

① 加载部分：开动油泵马达带动油泵工作，通过油管把高压油送入工作油缸，从而推动活塞、上横梁、传力柱和活动台上升。试件放在活动台上则受压，试件夹持在上下夹头之间则受拉伸。在油路中设有送油阀、回油阀，调节送油阀可以改变加载速度。为了适应长度不同的拉伸试件，在没有夹持试件之前，可用电动机或手摇带动底座中的蜗杆、蜗轮，调整下夹头的高度。

② 测力部分：油缸内产生油压的大小与试件所受的力成正比。将工作油缸中的油引入测力油缸，油压推动测力活塞向下移动，从而使传力杆带动摆锤绕支点抬起，推动测力表盘上的指针转动，由表盘上可读出试件的受力数值。

如果增加或减少摆锤的重量，当指针旋转同一角度时，所需的油压也不同，亦即指针在同一位置所指示的载荷大小与摆锤重量有关。一般试验机可以更换三种锤重，测力表盘也相应地有三种刻度，分别表示三种测力范围。例如30型油压式万能试验机就有A、B、C三种锤重，对应有三种刻度：0~60kN，0~150kN，0~300kN。

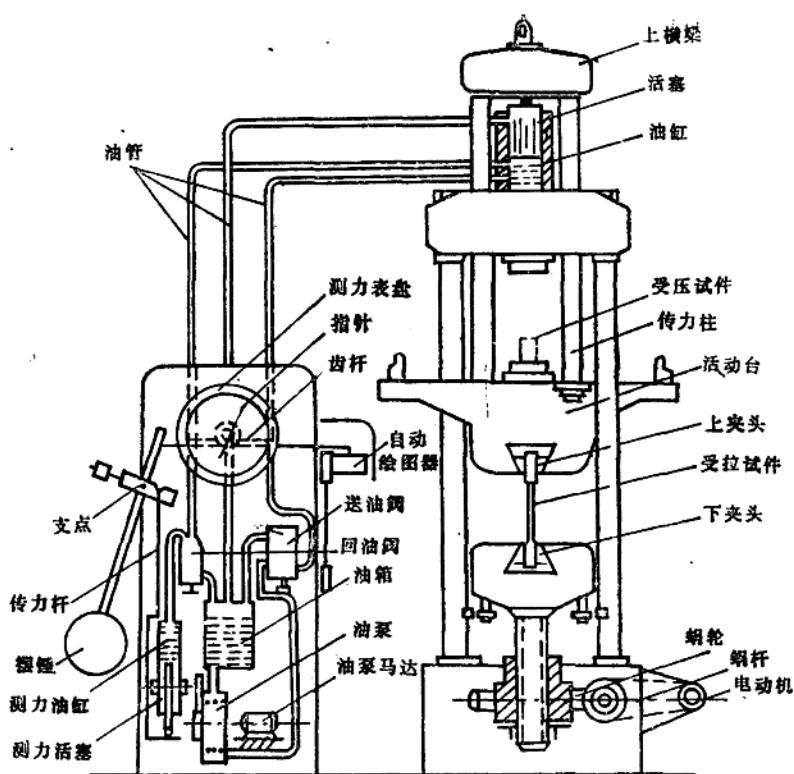


图1-1 油压式万能试验机简图

试验机还附有自动绘图器。试验时，可以绘出试件受力与变形的关系图。

(2) 操作步骤

① 根据试件所需载荷大小，选好合适的测力度盘和摆锤重。装好自动绘图器，包括纸、笔和传动可靠。油路中各阀门均应在关闭位置。

② 调整测力指针对零。方法是开动油泵马达，操纵控制送油阀缓慢送油，待活动台升起1厘米左右，关闭送油阀停止送油（不停油泵马达），调整指针对零。调好后停车。

③ 安放试件。压缩试件放在活动台上，试件必须对准中心，上下加以垫板。其中一端必须具有球形承垫。安装拉伸试件时，先在上夹头中夹好。用电动或手摇调整下夹头位置，使与试件长度相适应，夹好试件下端。必须注意，试件夹紧后，不得再开动下夹头电动机，否则形成用下夹头对试件加载，以致损伤电机。

④ 试件装好后，开动机器，慢速加载。如需卸载，打开回油阀回油即可。

⑤ 试验完毕，关闭油泵马达，取下试件。打开回油阀，使活动台回到原始位置。清理机器、工具和现场。

(3) 注意事项

① 开动试验机之前，送油阀与回油阀均应在关闭位置。

② 开动机器后，操纵者不得离开。发现异声或事故，应立即停车。

③ 加载、卸载、回油均应慢速进行。

④ 拉伸试件夹紧后，不得再调整下夹头位置。

(二) ZDM型杠杆摆锤式万能试验机

(1) 构造原理

这种万能试验机的构造原理，如图1-2所示。

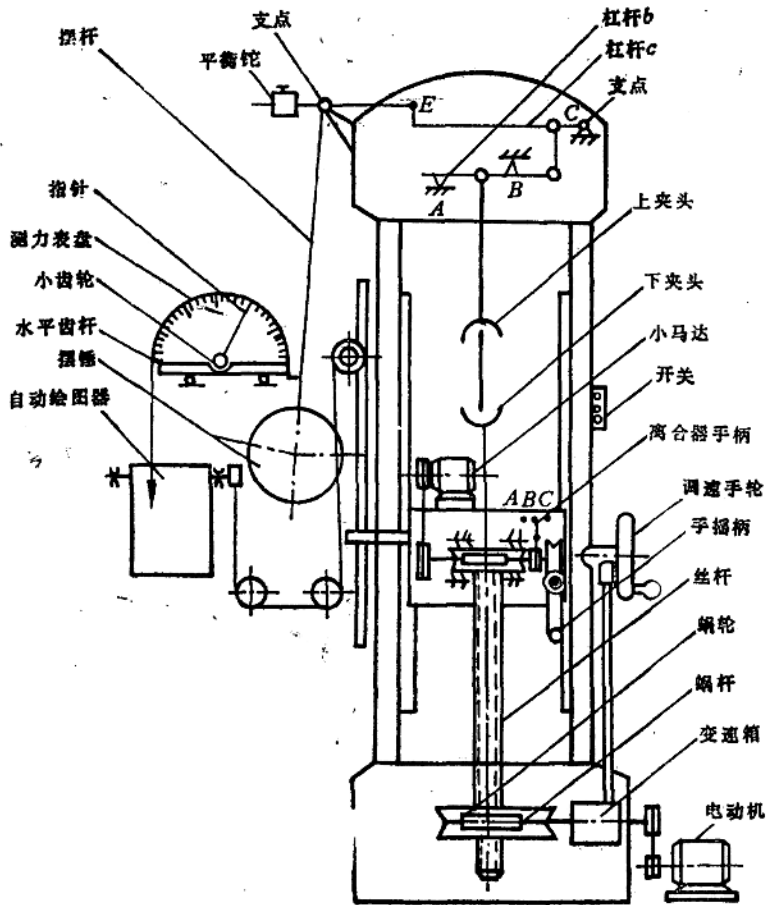


图1-2 机械摆锤式万能试验机

① 加载部分：开动电动机经变速箱、蜗杆及蜗轮带动丝杆和下夹头上下移动，试件则受压或受拉，其下降速度由调速手轮调整。变化范围为5~20毫米/分（必须在机器开动时调整）。为适应长度不同的拉伸试件，在没有夹持试件之前，可开动小马达使丝杆快速转动，便于很快地调整下夹头的高度。

② 测力部分：试件受拉时，上夹头往下，支点A接触，支点B离开（压缩时相反），使杠杆b绕支点A向下偏转，经杠杆C等使摆锤偏转，其摆杆推动水平齿杆移动，又经小齿轮使指针偏转，即可在测力表盘上读出试件受力的大小。测力表盘有20kN、50kN和100kN三种测力刻度。选择测力度盘时，必须相应地更换摆锤重。加载前应调整平衡砣使测力指针对零。

此外,除有受拉夹具以外,还附有作压缩和弯曲用的夹具。加载除了电动加载,还可用手摇加载。另外还附有自动绘图器,可绘出载荷和变形的关系曲线来。

(2) 操作步骤

- ① 根据不同试验装好夹具。
- ② 根据试验所需载荷大小,选好合适的测力刻度和摆锤重。
- ③ 调整平衡铰使测力指针归零。
- ④ 安放试件:拉伸试件先在上夹头中夹好,用小马达(离合器手柄置于A位置)快速调整下夹头位置,使与试件长度相适应。夹好试件下端。压缩试件放在压缩夹具上,试件必须对准中心,上下加以垫板。
- ⑤ 装好自动绘图器,包括纸、笔和传动可靠。
- ⑥ 进行试验时:采用电动加载,离合器手柄应拨于B位置,开动电动机,可用调速手轮调速。若采用手摇加载,离合器手柄应拨于C位置。
- ⑦ 试验完毕,关闭电动机:取下试件。清理机器、工具和现场。

(3) 注意事项

- ① 不得使用小马达加载,否则小马达将被烧毁。
- ② 调速手轮需在开动电动机时方可调速。
- ③ 当丝杆上升时,欲使其下降,必须先按“停”的电钮,才能按“向下”电钮。

三、实验试件

实验表明,实验时所用的试件,其形状和尺寸对实验结果都有影响。为了避免这种影响,使各种材料力学性质的数值能相互比较,国家对试件的尺寸和形状都作了统一的规定。常采用的拉伸试件有圆形截面和矩形截面,国家标准(GB228-76)所规定的圆形试件,如图1-3所示。试件直径 $d_0=10\text{mm}$,试验段长度(即标距) $l_0=100$ (或50)mm。凡是 $l_0=10d_0$ 的试件称为长试件, $l_0=5d_0$ 的试件,则称为短试件。

对于一般板材,按国家标准制成矩形截面试件时,截面面积和试件标距的比例关系为 $l_0=11.3\sqrt{A_0}$ 或 $l_0=5.65\sqrt{A_0}$,其中 A_0 为试件横截面面积。

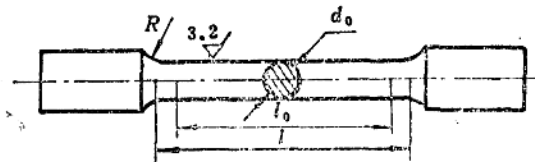


图1-3 圆形截面试件

四、实验原理

1. 低碳钢的拉伸实验

按照国家标准,材料的拉伸实验是测定其屈服极限 σ_s ,强度极限 σ_b 及伸长率 δ 和截面收缩率 ψ 。

对于低碳钢试件,试件从受载起直至拉断,全过程的拉力—变形关系($P \sim \Delta l$),由试验机上面的自动装置绘出的拉伸图为图1-4所示。

当实验刚刚开始时, 试件头部在夹头内有滑动, 故拉伸图的最初一段是曲线。一旦试件完全被夹紧后, 在拉伸图上即出现 NA 直线线段, 表明试件的变形与载荷成正比地增加。

为了消除拉伸图起点的曲线形状, 可将图形之直线线段延长与横坐标轴交于 O 点, 并以 O 点为拉伸图的原点。

当载荷继续增加超过弹性极限以后, 加载到 B' 点时, 材料出现屈服现象, 拉伸图呈现锯齿状, 测力指针来回摆动。其第一次倒退的最小值 (B 点) 为屈服载荷 P_s 。

屈服极限 σ_s 为

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0}$$

当材料屈服时, 若试件表面制作非常光滑, 可看到与杆轴约成 $\pm 45^\circ$ 方向上产生许多倾斜的皱纹。

当屈服阶段过后, 即过 C 点, 再继续增加载荷, 曲线上升, 表明材料抵抗变形能力有增强 (即强化)。当到达 D 点, 载荷达到最大值 P_b 。将 P_b 除以 A_0 得强度极限 σ_b , 即

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

过 D 点后, 载荷降低拉伸曲线开始下降, 试件开始产生局部伸长和出现 “颈缩” 现象, 测力盘的指针相应地由慢到快地回转, 至 E 点, 试件被拉断。最后测量断裂后标距的长度 l_1 及断裂处最小截面直径 d_1 , 则材料的塑性性能指标伸长率 δ 和截面收缩率 ψ 按下式求出:

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中 l_0 、 A_0 、 d_0 为试件原标距长度、原截面面积、原直径; l_1 、 A_1 、 d_1 为试件断裂后的标距长度、最小截面面积、最小截面直径。

注意, 若断口在标距长度的中央 $1/3$ 区域内时, 则可直接测量两端点 (线) 之间的长度, 即为 l_1 ; 若断口不在标距长度的中央 $1/3$ 区域内时, 应按国家标准采用断口移中法 (即将断口借换算法移至中间部分) 换算出试件拉断后的标距 l_1 。设有图1-5所示拉断试件, 断口偏

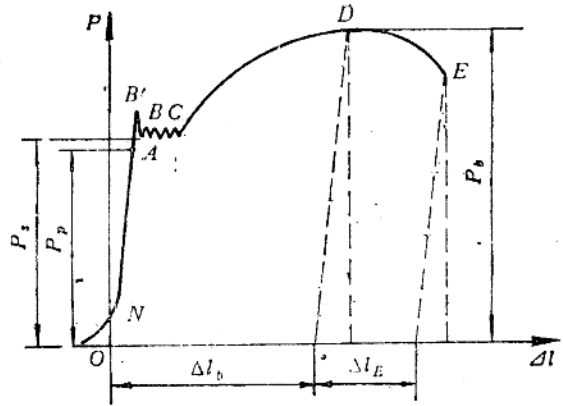


图1-4 低碳钢拉伸图

左。我们在长段上从拉断处 O 取基本等于短段格数得 B 点，接着取等于长段所余格数（偶数，图1-5a）之半，得 C 点；或者取所余格数（奇数，图1-5b）减1与加1之半，得 C 与 C_1 点。移位后的 l_1 分别为 $AO + OB + 2BC$ 或者 $AO + OB + BC + BC_1$ 。

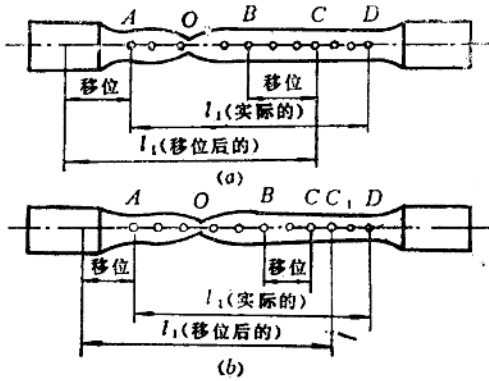


图1-5 断口移位法示意图

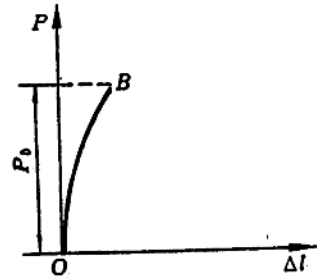


图1-6 铸铁拉伸图

2. 灰铸铁的拉伸实验

对于灰铸铁这类脆性材料，其试件拉伸时的载荷-变形曲线，如图1-6所示。没有明显的直线段，没有屈服，没有颈缩现象，伸长率 δ 很小（一般都不到百分之五），同时拉断后也没有“颈缩”现象，断面收缩率 ψ 几乎等于零。最有实用意义的是强度极限 σ_b ，因此，只需记下从加载到试件断裂时的最大载荷 P_b ，除以 A_0 ，即得铸铁的拉伸强度极限 σ_b 。

五、实验步骤

1. 低碳钢试件的拉伸实验

(1) 试件准备：为了确定伸长率和观察变形情况，刻好标距线 l_0 ，并在标距长度内将标距10等分。测量在试件标距长度内的两端及中间三个横截面Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ处的直径，每一处按互相正交的位置各量一次，取其平均值，然后取三个截面中最小的平均直径来计算截面积 A_0 。

(2) 试验机准备：

①选取测力度盘和摆锤重：根据材料强度极限 σ_b ，估计试件的最大载荷 P_b ，选择合适的测力刻度，选挂上相应的摆锤。一般试验机有三个测力度盘，由于测力部分精确度的关系，每个测力度盘的准确范围在本测力度盘最大值的 $\frac{1}{10}$ 至 $\frac{9}{10}$ ，试验时应保证所测的屈服（流动）载荷 P_s 、强度载荷 P_b 等均在此范围以内。

② 调零：对油压式万能试验机应先使活动台上升1厘米左右。调整摆锤到铅垂位置，调齿杆或有关部位，使测力主动指针对零，并轻拨被动指针靠近主动指针。同时调整好自动绘图仪。

③ 安装试件。

(3) 开机试验:

开动机器, 慢速加载, 使测力指针缓慢均匀地转动。试验时应仔细观察由自动绘图器所描出的试件受力和变形的关系曲线, 仔细观察拉伸过程中的各种物理现象, 如低碳钢的比例、屈服(流动)、强化、局部颈缩和断裂等现象。当测力指针不动或倒退时, 说明材料开始屈服, 记录屈服载荷 P_s 。试件断裂后停车, 由被动针读出最大载荷 P_b 并记录下来。

取下试件。将断裂试件的两段对齐并尽量挤紧, 用游标卡尺测量断后的标距 l_1 。测量两段断口(颈缩)处的直径 d_1 , 应在每段断口处两个互垂方向各测量一次, 计算其平均值, 取其中最小者计算 A_1 。

2. 灰铸铁试件的拉伸实验

对于铸铁试件, 不需要划分格线, 其试验步骤同前所述。只是铸铁拉伸图既无明显的直线段, 又无屈服(流动), 也不产生颈缩, 断裂是突然发生的。因此只需记录其强度载荷 P_b , 据此算出强度极限 σ_b 即可。

六、实验结果

1. 数据处理。

根据实验记录算出低碳钢的 σ_s , σ_b , δ , ψ 和铸铁的强度极限 σ_b 。

2. 拉伸图对比。

根据低碳钢和铸铁试件的拉伸图, 比较这两种材料的力学性质的特点。

金属材料拉伸实验报告

(参 考 格 式)

专业_____班级_____姓名_____学号_____

小组成员_____实验日期_____年_____月_____日

一、实验目的

二、实验设备

机器名称及型号

量具名称及型号

三、实验数据和计算结果

拉伸实验原始数据记录表

室温(℃)_____

材料名称	实 验 前 试 件 尺 寸										实验后试件尺寸			屈服载荷	破坏载荷	
	标距 l_0 (mm)	直径 d_0 (mm)									最小横截面积 A_0 (mm ²)	标距 l_1 (mm)	断口处直径 d_1 (mm)		P_s (kN)	P_b (kN)
		位置 I			位置 II			位置 III					平均			
		(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均	(1)	(2)	平均			(1)	(2)	平均	
低碳钢																
铸 铁																

拉伸实验数据计算结果

材料名称	强 度 指 标		塑 性 指 标		断口形状
	屈服极限 σ_s (MPa)	强度极限 σ_b (MPa)	伸长率 δ (%)	面缩率 ψ (%)	
低 碳 钢					
铸 铁					

四、思考题

1. 试述低碳钢和铸铁拉伸时力学性质的异同。

2. 以低碳钢和铸铁的断口形状解释金属材料的破坏原因。

实验二 压 缩 实 验

工程上的承压材料，如混凝土、岩石、砖、铸铁等，其抗压强度远大于抗拉强度，因此，多以抗压强度为其主要性能指标。对于碳钢一类的塑性材料，在轧制、锻造等加工过程中，也需要了解其抗压变形的性能。由此可见，压缩实验也是测定材料力学性质的一项基本实验。

一、实验目的

1. 测定低碳钢在压缩时的屈服极限 σ_s 。
2. 测定铸铁压缩时的强度极限 σ_b 。
3. 观察低碳钢和铸铁在压缩过程中的受力与变形间的关系。

二、实验设备

1. 机器：万能材料试验机。
2. 量具：游标卡尺。

三、实验试件

压缩试件的形状，有方块形和圆柱形。金属材料的压缩试件，一般采用短圆柱形的试件做破坏试验，如图2-1a所示。规定 $d_0 = 10 \sim 25 \text{ mm}$ ， $h_0 = (1 \sim 3)d_0$ 。试件的两端面要求平行、光滑，并且与试件轴线相垂直。混凝土和石料的压缩试件，常采用方块形试件，如 $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ 等（图2-1b）。

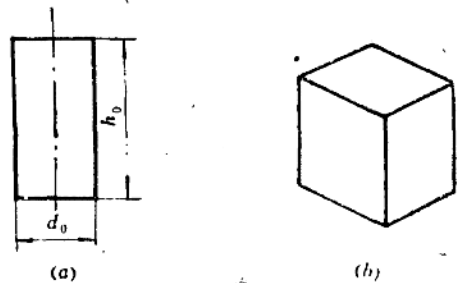


图2-1

四、实验原理

材料压缩时的力学性质，也可以用压力和变形的关系曲线表示出来，称之为压缩曲线。材料拉伸时所采用的决定其力学性能的定义和公式在此仍适用。

1. 铸铁的压缩实验

铸铁材料的压缩曲线为图2-2a所示。

当铸铁试件达到最大载荷 P_b 时，就突然发生破裂。此时测力主动指针迅速倒退，由被动指针可读出 P_b 值。铸铁试件最后被压成鼓形（图2-2b），表面出现与试件轴线成大于 45° 的倾斜裂纹，破坏主要是由剪应力引起的。

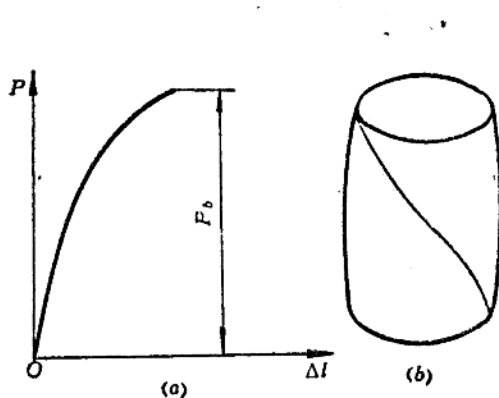


图2-2

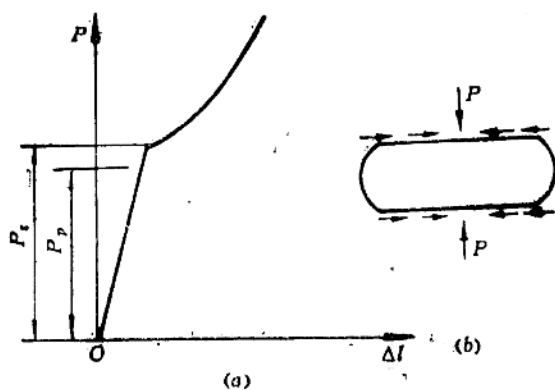


图2-3

铸铁压缩时的强度极限 σ_b 为

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

式中 A_0 为试验前压缩试件的横截面积。

2. 低碳钢的压缩实验

低碳钢试件受压时，其压缩图为图2-3a所示。

在过比例极限载荷 A 点后，开始出现变形增长较快的一小段，表示到达屈服载荷 P_s 。然而并不像拉伸那样有明显的流动阶段，此后，图形沿曲线继续上升，这是因为塑性变形迅速地增长，试件截面积也随之增大，增大的面积能承受更大的载荷。因此，确定 P_s 时，要特别小心地观察。在缓慢而均匀的加载下，最初测力指针等速转动。材料发生流动时，测力指针的转动减慢，此时的载荷即为屈服载荷。由于指针速度的减慢不十分明显，故常要借助绘图仪的曲线来判断 P_s 到达的时刻。低碳钢试件最后可压成饼形而不破裂（图2-3b）。所以无法求出最大载荷及其强度极限。

五、实验步骤

1. 低碳钢的压缩实验

(1) 试件准备：用千分尺（或游标卡尺）测量试件两端及中间等三处截面的直径。取三处中最小一处的平均直径为计算截面面积之用。用游标卡尺测量试件的高度。

(2) 安装试件：试件安装如图2-4所示。将试件端面涂以润滑油以减小试件端面与承垫间的摩擦，并安放在球形承垫的中心上，保证轴向受压。

(3) 调整试验机：选取测力表盘，挂上相应的摆锤，将活动台提升少许，调整测力指针对零。装好自动绘图器。

(4) 开机试验：开动机器，缓慢均匀加载。对于铸铁，加压至

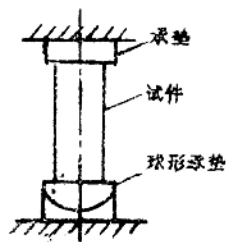


图2-4 试件安装图