



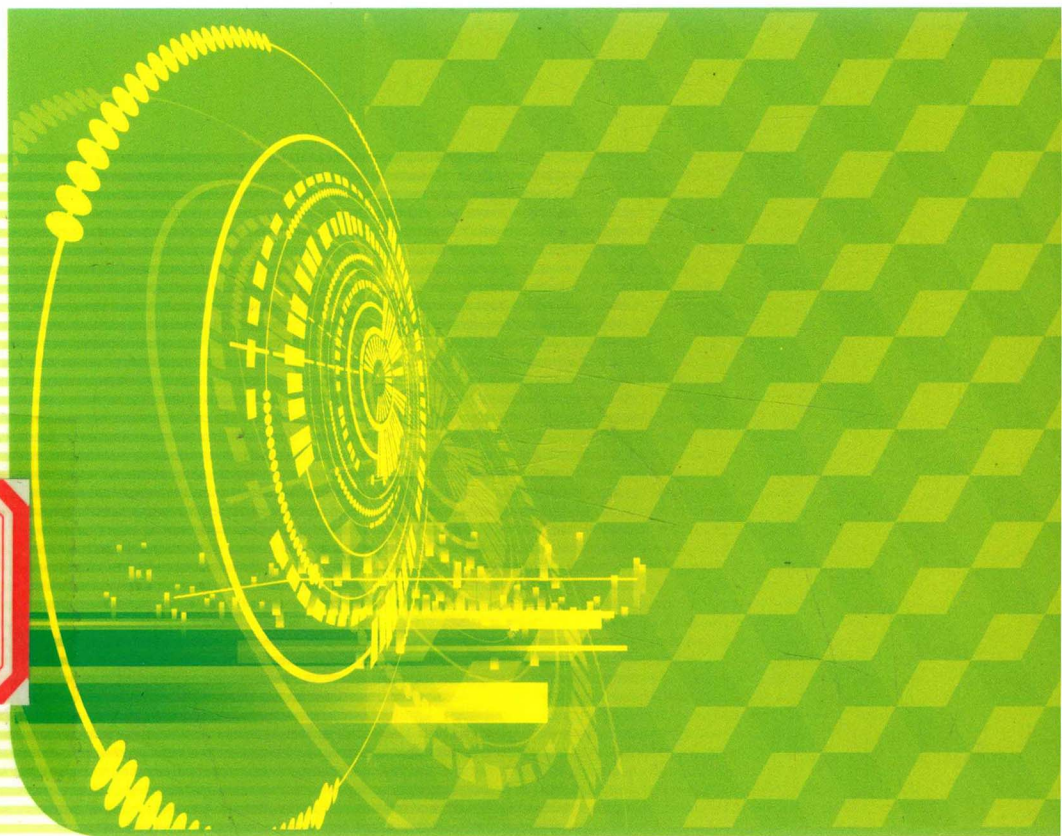
普通高等教育“十三五”规划教材

—材料专业实验教材系列

材料物理 性能实验教程

CAILIAO WULI
XINGNENG
SHIYAN JIAOCHENG

云南大学材料学科实验教学教研室 编



化学工业出版社

普通高等教育“十三五”规划教材
——材料专业实验教材系列

材料物理性能实验教程

云南大学材料学科实验教学教研室 编



化学工业出版社

· 北京 ·

元 00.00 付 宝

《材料物理性能实验教程》是依据材料科学与工程教学指导委员会材料相关专业规范的要求,根据高等学校材料化学、材料物理、无机非金属材料工程本科专业的培养目标编写而成的。本教程针对材料物理、材料化学与无机非金属材料工程本科专业,收集、整理和设计了若干个当前比较成熟的、常用的有关材料物理性能实验,每个实验主要包含实验目的、实验原理、实验设备和材料、实验内容与步骤、实验报告、问题与讨论以及参考文献等内容,旨在为学生和指导教师提供尽可能完备与系统的实验指导。力求使学生熟练地掌握材料物理性能实验的基本操作技能,并使学生在实验动手能力方面得到进一步的培养与提高。

《材料物理性能实验教程》可作为高等院校材料物理、材料化学和无机非金属材料工程专业,以及物理、化学和其他材料类专业本科生的实验教学用书,各学校可以根据自身实验条件和学科特点有选择性地开设实验,亦可供相关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

材料物理性能实验教程/云南大学材料学科实验教
学教研室编. —北京:化学工业出版社,2017.11
普通高等教育“十三五”规划教材——材料专业实
验教材系列

ISBN 978-7-122-30744-6

I. ①材… II. ①云… III. ①工程材料-物理性能-
实验-高等学校-教材 IV. ①TB303-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第247092号

责任编辑:尤彩霞

责任校对:边涛

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:大厂聚鑫印刷有限责任公司

710mm×1000mm 1/16 印张10½ 字数211千字 2018年2月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:39.00元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD

《材料物理性能实验教程》是针对材料物理、材料化学和无机非金属材料工程各专业大学三年级学生的实验课程,是伴随《材料性能学》课程而开设的独立实验课程,是理论教学的深化和补充,具有较强的实践性,是一门重要的实验基础课。目前已有的同类教材或教程中,无机化学实验、材料物理实验、材料物理基础实验等的内容主要以满足材料物理、环境、化学、化工、食品、生物等专业的要求为主,而面向材料专业,特别是能满足材料物理、材料化学和无机非金属材料工程专业需求的教材并不多。同时,由于各高等学校在材料科学与工程学科相关本科专业的培养目标方面各有特色和侧重,已有的同类教材或教程也不能很好地满足各高校对材料各专业本科生培养的要求和需要。为此,我们从2000年开始,针对材料化学、材料物理本科专业编写了适合其培养方案要求和学科特色发展的材料物理性能实验讲义。2009年新增无机非金属材料工程本科专业后,对实验讲义进行了修订和增补,以满足三个本科专业在材料物理性能实验的要求和需要。经过6年的使用、修改和完善,本实验讲义在内容、形式、完整性和系统性等方面已达到相关要求。

《材料物理性能实验教程》是依据材料科学与工程教学指导委员会材料相关专业规范的要求,根据高等学校材料化学、材料物理、无机非金属材料工程本科专业的培养目标编写而成的。本教程针对材料物理、材料化学与无机非金属材料工程本科专业,收集、整理和设计了若干个当前比较成熟的、常用的有关材料物理性能实验,每个实验主要包含实验目的、实验原理、实验设备和材料、实验内容与步骤、实验报告、问题与讨论以及参考文献等内容,旨在为学生和指导教师提供尽可能完备与系统的实验指导。力求使学生熟练地掌握材料物理性能实验的基本操作技能,并使学生在实验动手能力方面得到进一步的培养、训练与提高。

本书的编写是多年来从事材料物理与化学制备实验教学工作的老师们共同努力的结果。本教程参加编写的有肖雪春(力学性能实验)、陈刚(电学性能实验)、管洪涛(磁学性能实验)、王莉红(光学性能实验)、黄强(热学性能实验)。全文由王毓德教授统稿。

本教程由云南省支持高等职业院校专业建设专项经费资助出版。

由于笔者水平有限和经验不足,书中难免有一些不妥和疏漏之处,敬请读者批评指正。

编者

2017年9月

目录

CONTENTS

◎ 第一章 力学性能实验

1

实验一	金属材料的拉伸实验	1
实验二	金属材料的冲击实验	7
实验三	金属材料的压缩实验	10
实验四	金属的硬度实验	13
实验五	金属材料剪切弹性模量的测定实验	18
实验六	高分子材料冲击强度的测定实验	21
实验七	高分子材料的压缩强度测定实验	23
实验八	砌筑砂浆抗压强度实验	26
实验九	陶瓷材料的抗压强度测定实验	31
实验十	陶瓷材料的抗折强度测定实验	34
实验十一	陶瓷材料的抗张强度测定实验	36

◎ 第二章 电学性能实验

39

实验十二	判断半导体材料的导电类型	39
实验十三	光电导衰减法测少子寿命	42
实验十四	四探针法测量半导体材料的电阻率	46
实验十五	掺杂半导体杂质浓度分布测试	49
实验十六	导体的电阻率测量	53
实验十七	金属电阻温度系数的测定	56
实验十八	半导体材料霍尔系数的测量及其应用	58
实验十九	材料的介电性能测试	64
实验二十	交流电桥法测量材料复阻抗、介电常数	70

◎ 第三章 磁学性能实验

76

实验二十一	磁性材料基本特性实验	76
-------	------------	----

实验二十二	磁性材料磁致伸缩系数测定实验	80
实验二十三	材料的磁导率测试实验	82
实验二十四	铁磁性材料居里温度测定实验	88
实验二十五	磁性材料磁导率温度依赖性实验	90

◎ 第四章 光学性能实验

94

实验二十六	X 射线荧光分析碳酸盐中的 CaO、MgO 含量 方法	94
实验二十七	红外光谱分析聚苯乙烯塑料	97
实验二十八	火焰原子吸收光谱法测定未知样品中的铜	102
实验二十九	火焰原子吸收光谱法测定污水中的铜和铅	109
实验三十	拉曼光谱定性分析	110
实验三十一	偏光显微镜法观察聚合物结晶形态实验	114
实验三十二	碳钢及铸铁的显微组织及分析实验	117
实验三十三	紫外-可见吸收光谱分析实验	122

◎ 第五章 热学性能实验

133

实验三十四	耐火材料热膨胀系数的测量	133
实验三十五	热分析技术	137
实验三十六	燃烧热的测定	146
实验三十七	差热分析	152
实验三十八	火焰原子吸收光谱分析最佳实验条件的选择	155

第一章

力学性能实验

实验一 金属材料的拉伸实验

一、实验目的

1. 测定低碳钢在拉伸过程中的几个主要力学性能指标：抗拉强度 σ_b 、相对伸长率 $\delta\%$ 、断面收缩率 $\psi\%$ 。
2. 测定高碳钢的屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 。
3. 掌握液压万能实验机的操作。

二、实验原理

金属的拉伸实验是检验金属材料力学性能普遍采用的一种极为重要的方法，通过拉伸实验，可确定金属力学性能四大指标（抗拉强度、屈服强度、相对伸长率、断面收缩率），这些指标是结构设计的主要依据。在制造和建筑工程等许多领域，有许多机械零件或建筑构件是处于受拉状态，为了保证构件能够正常工作，必须使材料具有足够的抗拉强度，这就需要测定材料的性能指标是否符合要求，其测定方法就是对材料进行拉伸试验。因此，金属材料的拉伸试验及测得的性能指标，是研究金属材料各种使用条件下，确定其工作可靠性的重要手段之一，是发展金属新材料不可缺少的重要手段，所以拉伸试验是测定材料力学性能的一个基本实验。

物体在外力的作用下会发生变形，随着外力不断增大，变形程度亦相应增加，当外力去除后，物体又恢复到原来的形状，这种变形称为弹性变形；外力去除后，物体不能恢复到原来的形状，这种变形称为塑性变形。

当外力达到某定值后，金属呈塑性变形的性质，随着外力不断增加，金属材料对塑性变形的抗力也相应增大的现象，称之为形变强化或加工硬化。在断裂前能承受较大塑性变形的金属材料，称为高塑性变形材料；反之，称之为低塑性变形材料。

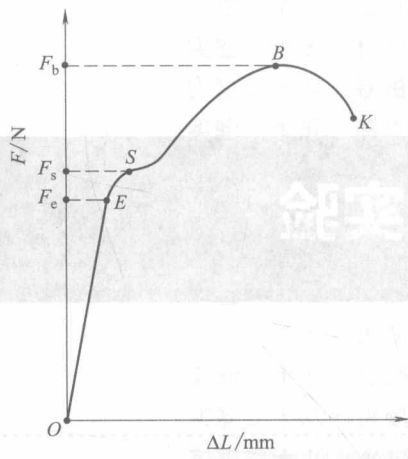


图 1-1 退火低碳钢的拉伸曲线

1. 拉伸曲线

材料的性质不同，拉伸曲线形状也不相同。图 1-1 为退火低碳钢的拉伸曲线，图中纵坐标表示力 F ，单位为 N ；横坐标表示绝对伸长 ΔL ，单位为 mm 。以退火低碳钢拉伸曲线为例说明拉伸过程中几个变形阶段。

(1) OE ——弹性变形阶段 试样的伸长量与载荷成正比增加，此时若卸载，试样能完全恢复原状。 F_e 为能恢复原状最大拉力。

(2) ES ——屈服阶段 当载荷超过 F_e 时，试样除产生弹性变形外，开始出现塑性变形，此时若卸载，试样的伸长只能部分恢复。当载荷增加到 F_s 时，图形上出现平台，即载荷不增加，试样继续伸长，材料丧失了

抵抗变形的能力，这种现象叫屈服。

(3) SB ——均匀塑性变形阶段 载荷超过 F_s 后，试样开始产生明显塑性变形，伸长量随载荷增加而增大。 F_b 为试样拉伸试验的最大载荷。

(4) BK ——缩颈阶段 载荷达到最大值 F_b 后，试样局部开始急剧缩小，出现“缩颈”现象，由于截面积减小，试样变形所需载荷也随之降低， K 点时试样发生断裂。

温度、应力状态和加载速度（拉伸速度）对金属材料的力学性质四大指标有显著的影响，所以，这三个条件必须保持恒定。光滑试样是为了避免因缺口效应而造成表面出现应力集中。轴向拉伸是指在试验过程中，试样不允许倾斜或偏心，采用圆试样可使塑性指标 $\psi\%$ 的测量更为方便和精确。

2. 强度指标

金属材料的强度是用应力来度量的，即单位面积上的内力称为应力，用 σ 表示。常用的强度指标有屈服点和抗拉强度。

(1) 抗拉强度 σ_b 材料在拉断前所承受的最大应力。抗拉强度表示材料抵抗均匀塑性变形的最大能力，是设计机械零件和选材的主要依据。

$$\sigma_b = F_b / S_0 \tag{1-1}$$

式中， F_b 为试样断裂前所承受的最大载荷， N 。

(2) 屈服点 σ_s 材料产生屈服时的最小应力，单位 MPa 。屈服点表征金属发生明显塑性变形的抗力，因此它是机械设计的主要依据。

$$\sigma_s = F_s / S_0 \tag{1-2}$$

式中， F_s 为屈服时的最小载荷， N ； S_0 为试样原始截面积， mm^2 。

对于无明显屈服现象的金属材料（如铸铁、高碳钢等）测定 σ_s 很困难，通常规定产生 0.2% 塑性变形时的应力作为条件屈服点，用 $\sigma_{0.2}$ 表示。

3. 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ 的定义及测试原理

$\sigma_{0.2}$ 是金属材料微量塑性形变抗力指标, 它是金属力学性能的重要指标之一。规定塑性变形为其标准长度的 0.2% 时对应的应力, 以 $\sigma_{0.2}$ 来表示。

$\sigma_{0.2}$ 的测试采用引伸仪测量法, 测验 $\sigma_{0.2}$ 可使用任何类型的引伸仪, 如表式、镜式、杠杆式等, 通常用表式引伸仪测量。测 $\sigma_{0.2}$ 有两种方法: 等级加荷法和控制变形法。现将控制变形法介绍如下:

(1) 测量出经检验合格的试样的半径 r , 测量三次算出其平均值 $\bar{r}$, 估算出要加给试样的初应力 σ_0 (对于钢试样以 49N/mm^2 来估算);

(2) 将试样安装在引伸仪上, 对引伸仪进行调零后, 将安有引伸仪的试样安装在万能试验机的夹具上;

(3) 启动试验机, 加载初载荷使试样达到初应力 σ_0 , 保持 5~10s 后, 读取引伸仪上的表格数, 作为试验之起点;

(4) 此后向试样施加一系列载荷并保持 5~10s, 同时测定每次卸荷至 σ_0 时, 引伸仪上的表格数, 如此往复进行下去, 直至试样的残余伸长等于或大于原标距长度的 0.2% 时, 停止试验。

引伸仪的基础长度为 100mm, 分度值为 0.01mm, 由 $\sigma_{0.2}$ 的定义而知, 规定塑性变形为其标准长度的 0.2% 时对应的应力, 则引伸仪上相当于标距长度的 0.2% 的残余伸长的换算方法为: $100 \times 0.2\% = 0.2\text{mm}$, 引伸仪每格为 0.01mm, 故 0.2mm 的残余伸长相当于 20 格。下面我们以具体的实例来解释控制变形测量法, $\sigma_{0.2}$ 的试验测试记录如表 1-1 所示。

表 1-1 $\sigma_{0.2}$ 的测试记录

载荷/N	引伸仪读数/格	残余伸长/格	载荷/N	引伸仪读数/格	残余伸长/格
3920	10	—	60760	67	—
35280	32	—	3920	29.5	19.5
3920	11.3	1.3	62230	71	—
57330	53	—	3920	31.4	21.4
3920	17.5	7.5			

控制变形法是以实验中达到规定的变形为主, 而不管载荷的情况如何, 以试样的初始应力 σ_0 为 3920N 为例, 加载荷至 3920N, 读下引伸仪的读数为 10 格, 则第一次引伸仪的总变形控制的计算方法为起始格数+要求的残余伸长格数 (通过前面的换算为 20 格), 以测试记录为例, 第一次引伸仪的总变形为 10 格+20 格+2 格=32 格, 考虑到弹性变形计算在内, 故还应人为加 1~2 格。通过控制变形格数来给试样加载荷, 比如达到 32 格需 35280N 的载荷, 记下数值, 然后卸载至 3920N 时, 引伸仪的读数为 11.3 格, 则残余伸长为引伸仪的读数一起始格数, 即 11.3 格-10 格=1.3 格。

第二次引伸仪的总变形控制的格数为: 第一次的控制总变形格数+(规定格数 20 格-第一次测得的残余伸长格数)+2 格, 即 32 格+(20 格-1.3 格)+2 格=52.7 $\approx$ 53 格。继续通过控制变形格数来给试样加载荷, 比如达到 53 格(需 57330N

的载荷),记下数值,然后卸载至 3920N 时,引伸仪的读数为 17.5 格,则残余伸长为引伸仪的读数一起始格数,即 17.5 格-10 格=7.5 格。

第三次引伸仪的总变形控制的格数为:第二次的控制总变形格数+(规定格数 20 格-第二次测得的残余伸长格数)+2 格,即 53 格+(20 格-7.5 格)+2 格=67.5 格 $\approx$ 68 格。继续通过控制变形格数来给试样加载荷,比如达到 68 格(需 60760N 的载荷),记下数值,然后卸载至 3920N 时,引伸仪的读数为 29.5 格,则残余伸长为引伸仪的读数一起始格数,即 29.5 格-10 格=19.5 格。

以此类推,直至某次卸载至 σ_0 而产生的残余伸长大于或等于 20 格时,停止试验。

从表 1-1 中可知: $P_{0.2} \approx 60760\text{N}$,然后用内插法进行精确计算:

$$62230 - 60760 = 1470\text{N}$$

$$21.4 - 19.5 = 1.9 \text{ 格}$$

用此法计算应添加于 60760N 上的载荷 ΔP :

$$1470\text{N} - 1.9 \text{ 格}$$

$$\Delta P \text{——} 0.5 \text{ 格}$$

$$\text{所以 } P_{0.2} = 60760\text{N} + 387.1 = 61147.1\text{N}, \text{ 故 } \sigma_{0.2} = \frac{61147.1}{\pi r^2} \text{N/mm}^2$$

4. 相对伸长率 $\delta\%$ 和断面收缩率 $\psi\%$ 的测定

拉伸时,当应力超过弹性极限后,金属继续发生弹性变形的同时,开始发生塑性变形。金属塑性变形主要是材料晶面间由于切应力作用而产生的滑移,材料产生塑性变形的能力叫做塑性。为了表示材料塑性的大小,拉伸时以相对伸长率 $\delta\%$ 和断面收缩率 $\psi\%$ 来表示。

(1) 相对伸长率的测定

$$\delta = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100\% = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-3)$$

式中, L_0 为试样原始标距长度, mm; L_1 为试样断裂后标距长度, mm; ΔL 为试样断裂后标距绝对伸长量, mm。

对于塑性材料,断裂前变形集中在缩颈处,这部分变形最大,距离断口位置越远,变形越小。因此,断口所在标距间的位置对相对伸长率是有影响的。其中以断口在试样正中时最大。为弥补断口位置不当对 $\delta\%$ 值产生的影响,人们规定了补偿法。

以标准长度为 100mm,且划分为 10 格的试样为例,来进行说明补偿法。

① 将试样的距离近似三等份,若断口在中间四格内,则绝对伸长率,可一次测量 10 格,而不用补偿法。反之,则要采用补偿法,也就是断口移中法。

② 断口移中法:如图 1-2 所示,试验前将试样原始标距 L_0 细分为 N (例如 10) 等份,在试验后,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 ，可按下述情况分别测定断后伸长率：

A. 若 $N-n$ 为偶数时，如图 1-2 (a) 所示，测量 X 与 Y 之间的距离和测量从 Y 至距离为 $1/2 (N-n)$ 个分格的 Z 标记之间的距离，则计算断裂伸长率公式为

$$A = \frac{XY + 2YZ - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-4)$$

B. 若 $N-n$ 为奇数时，如图 1-2 (b) 所示，测量 X 与 Y 之间的距离，和测量从 Y 至距离分别为 $1/2 (N-n-1)$ 和 $1/2 (N-n+1)$ 个分格的 Z' 和 Z 标记之间的距离，则计算断裂伸长率公式为

$$A = \frac{XY + YZ' + YZ - L_0}{L_0} \times 100\% \quad (1-5)$$

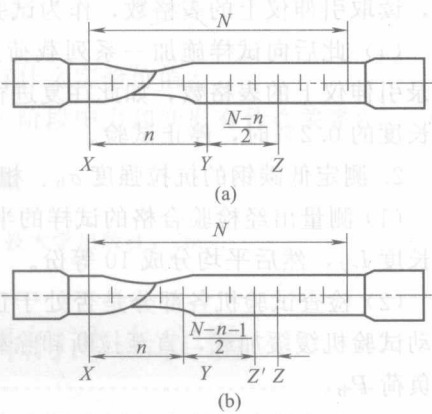


图 1-2 断口移中方法的图示说明

(2) 断面收缩率的测定

断面收缩率 ψ 是试样拉断后，其颈缩处的断面相对收缩值，表达式为：

$$\psi = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中， A_0 为试样原始截面积， A_K 为试样断面处最小截面积。

三、实验设备和材料

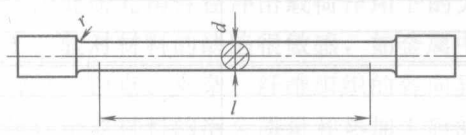


图 1-3 低碳钢圆形截面试样

- 1. 实验设备：300 千牛顿液压万能试验机、游标卡尺、引伸仪。
- 2. 实验材料：低碳钢、高碳钢。试样尺寸与加工按 GB 6397 — 1986 标准进行，光滑拉伸试样尺寸，圆形截面比例试样通常取 $l=10d$ 或 $l=5d$ ，如图 1-3 所示。

四、实验内容与步骤

1. 测定高碳钢的屈服强度 $\sigma_{0.2}$

(1) 测量出经检验合格的试样的半径 r ，测量三次算出其平均值 $r_{平}$ ，估算出要加给试样的初应力 σ_0 （对于钢试样以 $49N/mm^2$ 来估算）。

(2) 打开试验机的电源开关，启动电机。将试样安装在万能试验机的夹具上，再把引伸仪安装在试样上，对引伸仪进行调零。

(3) 启动试验机，打开加油阀加初载荷使试样达到初应力 σ_0 ，保持 5~10s 后，读取引伸仪上的表格数，作为试验之起点。

(4) 此后向试样施加一系列载荷并保持 5~10s，同时测定每次卸荷至 σ_0 时，记录引伸仪上的表格数，如此往复进行下去，直至试样的残余伸长等于或大于原标距长度的 0.2% 时，停止试验。

2. 测定低碳钢的抗拉强度 σ_b 、相对伸长率 $\delta\%$ 、断面收缩率 $\psi\%$

(1) 测量出经检验合格的试样的半径 r ，测量三次算出其平均值 $r_{\text{平}}$ ，测量试样的长度 L_0 ，然后平均分成 10 等份。

(2) 检查试验机各部分是否处于正常工作状态，将试样夹持在试验机夹头上，开动试验机缓缓加载，直至拉断卸除载荷，关闭电源使试验机停止工作，记录下最大负荷 P_b 。

(3) 实验结束，从实验机上下夹具内取出已被拉断的试样，将试件两截口吻合好，仍用游标卡尺量取并记下两标距线之间的长度 L_1 ；量取并记下断口处的最小直径 d_K 。各数据填入相应表格。

五、实验报告

- 1. 简述各项指标测试的原理及步骤。
- 2. 按表 1-2、表 1-3 认真完成数据记录。
- 3. 根据记录及各项指标的定义计算得出各项指标。

表 1-2 高碳钢 $\sigma_{0.2}$ 的测试数据记录

项 目	1	2	3
高碳钢的半径/mm			
半径平均值/mm			
载荷名称	载荷数据(单位)	引伸仪读数/格	残余伸长/格
初应力			
所加应力			—
初应力			
所加应力			—
初应力			
所加应力			

表 1-3 低碳钢各项测试数据记录

项 目	1	2	3
低碳钢的半径/mm			
半径平均值/mm			
低碳钢的长度/mm			
长度平均值/mm			
断口处的最小直径 d_K /mm			
拉断后两标距线之间的长度 L_1			
拉断试样所需的最大载荷(单位)			

六、问题与讨论

1. 拉伸试验所确定的各项力学性能指标有什么实验价值?
2. 低碳钢拉伸图大致可分几个阶段? 每个阶段中力和变形有什么关系?

参考文献

李国安. 材料力学性能实验指导. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002.

实验二 金属材料的冲击实验

一、实验目的

1. 了解冲击韧性的含义。
2. 掌握金属材料的冲击实验方法。
3. 了解摆锤式冲击实验机的构造原理和操作方法。

二、实验原理

通过金属材料的静载荷实验(拉力、强度、弯曲压力、持久、蠕变等),可以得到许多有重要意义的力学性能指标,然而在工程结构中常见的机器设备却多数是在动力载荷下工作的,如凿岩机、起重机、锻锤、轨钢机等,冲击载荷是指作用力在极短时间内有很大变化幅度的载荷。在实际应用中,受冲击载荷作用的构件,特别是用高强度低塑性材料制造的零件,往往会发生无预兆的突然断裂而造成重大事故,因此研究构件在冲击载荷作用下的力学性能具有重要的现实意义。实践证明,冲击实验对材料的缺陷很敏感,如金属中的晶粒粗细、回火脆性、过热、过烧、内部裂纹、白点、夹杂、纤维组织的各向异性等都会在冲击实验中暴露出来,因此它也是评定原材料的冶金质量和热加工后的半成品质量的有效方法。另外,应力集中和实验温度对冲击韧性的影响也较大,该实验也被用于确定材料的冷脆倾向及冷脆转变温度。由于冲击试样加工简便,实验时间短,同时容易辨认出材料及金属热处理工艺选择是否合理等,所以,冲击实验在生产实践中得到了广泛的采用。

冲击实验是一种动态力学试验,其方法有一次摆锤冲击实验、落锤实验和爆破实验等,常用的是摆锤冲击实验,它是将一定形状及尺寸的试样放置在冲击试验机的固定支座上,然后将具有一定位能的摆锤释放,使试样在冲击弯曲负荷的作用下弯曲断裂。

冲击实验一般分为单冲击与反复冲击两大类。单冲击一次将材料冲断,由材料断裂时所吸收的能量来比较其韧性的。反复冲击则是将一定重量的锤从一定高度落下而反复冲击试样,以破断时的冲击次数来比较材料的脆韧性。一般金属材料

的冲击实验采用单冲击，反复冲击适用于特种材料，其方法类似于疲劳实验。

1. 冲击韧性的定义

用冲断试样所消耗的功 A_K ，除以试样缺口处的横截面积 A_0 所得的商称为冲击韧性（或冲击值），用 α_K 表示：

$$\alpha_K = \frac{A_K}{A_0} \quad (2-1)$$

式中， α_K 的单位为 J/mm^2 。 α_K 的值越大，表明材料的抗冲击性能越好，它与材料的内部缺陷、晶粒大小、温度变化、试样的尺寸、缺口形状和支承方式等因素有关。

2. 冲击试验机的原理

图 2-1 所示为冲击试验机原理图，钢制的摆锤悬挂在轴上，实验时把摆锤放在如图 2-1 所示的 α 角位置，于是摆锤具有一定的位能。

试验时，令摆锤下落，冲断试件。试件折断所消耗的能量等于摆锤原来的位能（ α 角处）与其冲断试件后在扬起位置（ β 角处）时的位能之差。如不计摩擦损失及空气阻力等因素，那么摆锤对试件所做的功 W 可按式计算

$$W = QH_1 - QH_2 \quad (2-2)$$

$$\left. \begin{aligned} H_1 &= L(1 - \cos\alpha) \\ H_2 &= L(1 - \cos\beta) \end{aligned} \right\} \quad (2-3)$$

式中， L 为摆杆长度， H 为摆锤的高度。

将式 (2-3) 代入式 (2-2) 得

$$\begin{aligned} W &= Q(H_1 - H_2) = Q[L(1 - \cos\alpha) - L(1 - \cos\beta)] \\ &= QL(\cos\beta - \cos\alpha) \end{aligned} \quad (2-4)$$

式中， α 为冲击前摆锤扬角； β 为冲断试件后摆锤升起角。

由于摆锤重量、摆杆长度和冲击前摆锤扬角 α 均为常数，因而只要知道冲断试件后摆锤升起角 β ，即可根据上式算出消耗于冲断试件的功。本试验机已经预先根据上述公式将相当于各升起角 β 的功的数值算出并直接输入到仪器中，因此冲击后可以直接读出试件所吸收的功。

三、实验设备和材料

1. 实验设备：ZBC-300B 液晶全自动金属摆锤冲击试验机。

2. 实验材料：铸铁。我国采用梅氏试样为标准试样（图 2-2），梅氏试样有加工方法简单的特点，但因缺口处半径过大，可造成脆性转化温度降低，故国外都广

泛采用夏比 (Charpy) V 型缺口试样, 这不但能使脆性转化温度升高, 而且作为向断裂力学方法的过渡也具有重要意义。

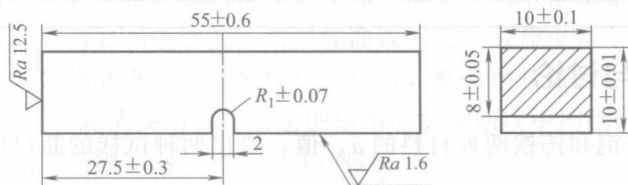


图 2-2 标准试样尺寸 (单位: mm)

四、实验内容与步骤

(一) 操作步骤

1. 开机, 同时打开打印机电源开关, 按下“联机”键。
2. 摆锤自由下垂, 无任何动作执行的前提下, 按“清零”键, 之后“起摆”进行空摆冲击, 此时的吸收功为空摆的能量损失。

★注意: 必须在摆锤处于垂直不动状态下执行此动作, 尤其不能在其它动作执行中按下“清零”键。此点尤其重要。

3. 进行参数设置。
4. 按“取摆”键 (摆锤应逆时针转动)。
5. 安装试样在支座上。
6. 退销: 按“退销”键, 保险销退销。
7. 冲击试样: 按“冲击”键, 摆锤靠自重绕轴开始进行冲击。

★注意: 必须先执行“退销”动作, 冲击指令才会生效。

8. 放摆: 按“放摆”键, 保险销自动退销。当摆锤转至接近垂直位置时, 便自动停摆。

9. 打印数据。

(二) 注意事项

1. 常温冲击试验必须严格控制实验室温度, 一般要求在 $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$ 的范围内, 因室温的高低对试样的韧脆状态转化有影响。如在室温下有脆性转化趋势的材料, 可能因为室温过高而被掩饰了, 故对室温必须严格规定。

2. 不同尺寸试样所得 α_K 值不可相互比较。
3. 在摆锤摆动范围内, 不得有任何人员活动或放置障碍物, 以保证安全。

五、实验报告

1. 简述冲击实验的原理和应用。
2. 整理试验数据, 记录于表 2-1, 对实验结果进行分析和讨论。

表 2-1 冲出实验结果记录

材料	铸铁	低碳钢
$\alpha_K/(J/mm^2)$		
断口形貌		

六、问题与讨论

- 1. 比较低碳钢和铸铁两种材料的 α_K 值，绘出两种试样的断口形貌，指出各自的特征。
- 2. 如何通过冲击实验后的冲击断口来评定材料的断裂性质和缺陷？

参 考 文 献

李国安．材料力学性能实验指导．武汉：华中科技大学出版社，2002.

实验三 金属材料的压缩实验

一、实验目的

- 1. 测定压缩时低碳钢的屈服极限 σ_s 和铸铁的强度极限 σ_b 。
- 2. 观察低碳钢和铸铁压缩时的变形破坏现象，并进行比较。

二、实验原理

压缩实验在万能试验机工作台上进行。在工作台上附有球形支座，如图 3-1 所示。在球形支座内涂有润滑油，当试件上下端面稍有不平行时，球形支座可自动调节，使压力趋于均匀分布。

1. 低碳钢

以低碳钢为代表的塑性材料，轴向压缩时会产生很大的横向变形，但由于试样两端面与试验机支承垫板间存在摩擦力，约束了这种横向变形，故试样出现显著的鼓胀，如图 3-2 所示。

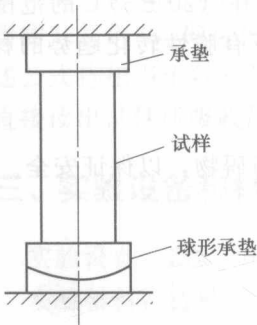


图 3-1 压缩模具

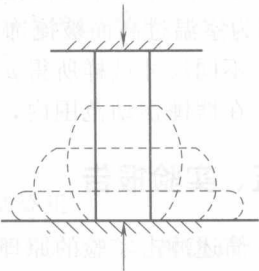


图 3-2 低碳钢压缩时的鼓胀效应

低碳钢试样压缩时同样存在弹性极限, 屈服极限, 而且数值和拉伸所得的数值差不多, 但是屈服却不像拉伸那样明显。如图 3-3 所示。从进入屈服阶段开始, 试样塑性变形就有较大的增长, 试样截面面积随之增大。由于截面面积的增大, 要维持屈服时的应力, 载荷要相应增大。与拉伸曲线相比, 载荷也是上升的, 但看不到锯齿段。在缓慢均匀加载下, 当材料发生屈服时, 载荷增长缓慢, 这时所对应的载荷即为屈服载荷 F_s 。(此值要结合自动绘图绘出的压缩曲线中的拐点判定)。

则低碳钢的屈服极限 σ_s 由公式 (3-1) 得出:

$$\sigma_s (\text{kN/mm}^2) = \frac{F_s}{A_0} \quad (3-1)$$

式中, F_s 为屈服载荷, N; A_0 为试样的横截面积, mm^2 。

2. 铸铁

铸铁试样压缩时, 在达到最大载荷 P_b 前将会产生较大的塑性变形, 最后沿与轴线成 45° 的断裂面破坏, 如图 3-4 所示。

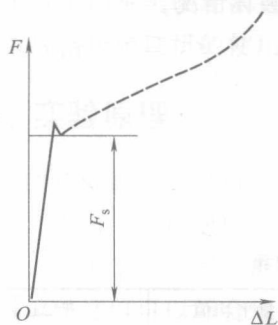


图 3-3 低碳钢的压缩曲线

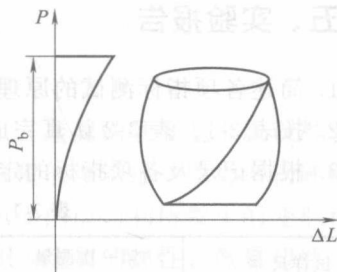


图 3-4 铸铁的压缩曲线

则铸铁的强度极限 σ_b 由式 (3-2) 得出:

$$\sigma_b (\text{N/mm}^2) = \frac{P_b}{A_0} \quad (3-2)$$

式中, P_b 为屈服载荷, N; A_0 为试样的横截面积, mm^2 。

三、实验设备和材料

1. 实验设备: 300 千牛顿液压万能试验机、游标卡尺。

2. 实验材料: 低碳钢、铸铁。压缩试件一般加工成圆柱形, 如图 3-5 所示。 h 为试件高度, d 为试件直径。为了使在相同实验条件下, 对不同材料力学性能进行比较, 金属材料压缩实验所用试件规定, 高度 h 与直径 d 之比应满足 $1 \leq h/d \leq 3$, 为使试件尽可能承受轴向压力, 试件上下端面必须平行, 并且与轴线垂直。

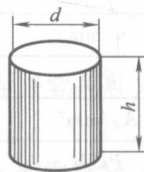


图 3-5 标准试样