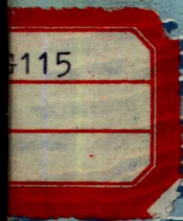


金属材料及 热处理实验

王运炎 主编

机械工业出版社



金属材料及热处理实验

王 运 炎 主 编



机 械 工 业 出 版 社

金属材料及热处理实验

王运炎 主编

*

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 5 · 字数 115 千字

1985 年 3 月北京第一版·1985 年 3 月北京第一次印刷

印数 00,001—21,000 · 定价 0.90 元

*

统一书号: 15033 · 5942

前言

金属材料与热处理是在若干基础科学和生产实践的基础上发展起来的一门科学，但它的一些主要理论都是通过实验并总结了实验的规律而建立起来的。例如：合金相图虽然从理论上可用热力学原理推测出来，但实际上都是通过实验，总结了合金在平衡条件下的成分、温度与相之间的关系而建立的；过冷奥氏体转变曲线也是通过实验，总结了钢在不平衡条件下的过冷度与组织间关系的规律而建立的；金属材料中的合金化原理，则是各种合金元素对相变、组织、性能等影响的实验规律的综合。因此，实验不仅可使学生通过自己的实践来验证课堂理论，加深理解，做到理论联系实际，而且也可培养学生观察问题、发现问题、分析问题和解决问题的能力。此外，通过实验对培养学生严肃认真的工作作风、实事求是的科学态度和辩证唯物主义世界观都有着不可忽视的作用。因此在金属材料与热处理课程教学中，必须充分重视实验教学。

本书是高等专科学校机械制造类专业的实验教材。是根据机械工业部教育局初步审定的招收高中毕业生、学制为三年的教学大纲要求编写的。它也是由机械工业出版社出版、王运炎主编的《金属材料与热处理》的配套教材，可供机械制造类专业《金属材料与热处理》实验课使用。本书也可供职工大学、电视大学和业余大学和中等专业学校师生参考，并可供其他专业的同类课程的实验课选用。

全书内容包括十四个实验。根据大纲要求，分成必做实验和选做实验两类。在目录中，选做实验用符号 * 表示。在九个必做实验中，若已完成了实验一、实验二、实验三和实验八时，则实验九可以不做；反之亦然。在五个选做实验中，各校可根据具体条件与要求选做。

本书的实验顺序均按讲课先后依次编排。

每一实验一般按下列方式安排：

1. 实验目的 这是实验应达到的主要要求。
2. 实验概述 它提供完成本实验的最基本的理论基础和学生在实验中需查阅的有关资料。
3. 实验设备与用品 这便于实验室工作人员和学生在实验前作好准备。
4. 实验试样与材料 每一实验所用材料本书都提出了建议，但各校可在不影响实验目的的情况下，改用其他同类的材料。
5. 实验步骤与注意事项 它保证实验能有条不紊地进行。
6. 实验报告 这是根据实验结果，学生在课后应完成的具体作业。

本书对实验的组织方法来详细规定。各校可按照设备条件和学生人数、学时数等具体情况灵活掌握。但为了提高实验教学质量，要保证学生都能人人动手，动脑，并且要做好每次实验课的分析与小结。实验中由于受各种因素影响，有时同一内容的实验，其结果会各不相同，甚至出现实验结果与理论不符的情况。这时应首先引导学生独立思考、积极思维，从实验过程中找出其成功或失败原因，然后由教师归纳小结，使学生能进一步了解各种内、外因素对实验结果的影响。使学生既掌握了知识，又培养了能力。

IV

参加本书编写的还有俞伟民同志。本书由郭涤策同志主审。

参加本书审稿会议的有：张鲁阳、卢鼎恒、马喜爱、吴作稼、沙凡、孙宝强、蒋光正、屠信康、左大强、王晶华、姜永顺、从长江、李洪贤等同志。上海机械专科学校金相室为本书提供了金相照片，在此表示衷心的感谢。

由于我们水平有限，难免考虑不周，安排不当，甚至有错误之处，殷切希望使用本书的同志提出宝贵意见。

编者

1983.12

目 录

前言	
实验一 拉力试验	1
实验二 硬度试验	5
实验三 冲击试验	10
实验四 金相显微镜的使用及金相试样的制备	13
* 实验五 盐类晶体结晶过程观察	22
* 实验六 金属的塑性变形与再结晶	25
* 实验七 用热分析法测定二元合金相图	32
实验八 铁碳合金平衡组织的显微分析	37
实验九 碳钢的成分、组织、性能分析	45
* 实验十 钢的退火与正火	49
实验十一 碳钢的热处理	51
* 实验十二 合金钢的淬透性及回火稳定性	61
实验十三 铸铁组织的显微分析	64
实验十四 有色金属及粉末合金组织的显微分析	69
附表一 压痕直径与布氏硬度对照表	73
附表二 各种硬度(布氏、洛氏、维氏)换算表	74

实验一 拉力试验

一、实验目的

1. 了解拉力试验机的构造及使用方法。
2. 初步掌握金属材料的屈服强度、强度极限、延伸率和断面收缩率的测定方法,加深对强度指标和塑性指标的认识。
3. 初步建立碳钢的含碳量与其强度、塑性间的关系。

二、实验概述

拉力试验是测定金属材料的强度指标和塑性指标的常用方法。它是把一定尺寸和形状的金属试样夹持在拉力试验机上,然后对试样逐渐施加拉伸载荷,直至把试样拉断为止。把试验过程中试样发生屈服时的载荷以及其所能承受的最大载荷,除以试样的原始横截面积,即可求得该材料的屈服极限(点)和强度极限;把试样拉断后的标距增长量及拉断处横截面积的缩减量,分别除以试样的原始标距长度及试样的原始横截面积,即可求得该材料的延伸率和断面收缩率。

不同的金属材料具有不同的强度指标和塑性指标。一般地说,碳钢随着含碳量的增加,其强度随之提高而塑性下降。

三、实验设备及用品

拉力试验主要设备和用品为拉力试验机和测量试样尺寸用的游标尺。拉力试验机常用的有机械式和液压式两种。图 1-1 为液压式万能材料试验机的结构示意图。实验时将试样 18 夹持在上钳口 17 和下钳口 19 中,然后开动电动机使油泵 14 开始工作。这时打开送油阀 12,高压油即送入加载油缸 16,使活塞 15 和带有上钳口的横梁上升。由于下钳口调整后已固定不动,故横梁上升时,试样即被加载而伸长。

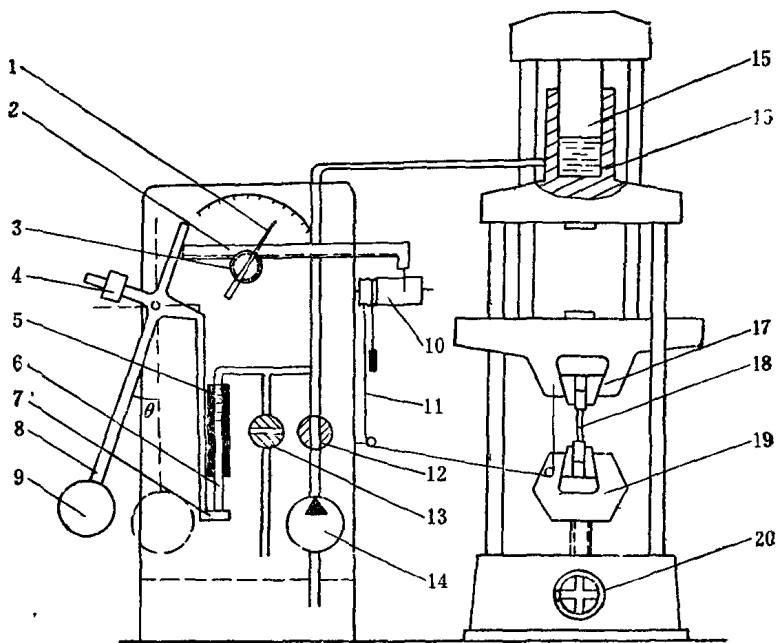


图 1-1 液压式万能材料试验机结构示意图

- 1—测力指针 2—推杆 3—齿轮 4—平衡块 5—测力油缸 6—测力活塞 7—拉杆 8—测力杠杆 9—砝码 10—记录圆筒 11—细绳 12—送油阀 13—回油阀 14—油泵 15—活塞 16—加载油缸 17—横梁上钳口 18—拉力试样 19—下钳口 20—调整手轮

试样所受的载荷大小由测力指针 1 指示。高压油在进入加载油缸的同时,也进入测力油缸 5 中,推动测力活塞 6 下降,从而带动十字形的测力杠杆 8 使砝码 9 扬起。载荷越大,所

需油压就越高,测力活塞上的推力以及此力对杠杆中心的推动力矩也就越大,故使测力杠杆的摆动角度 θ 增大。由于砝码重力产生的力矩与推动力矩平衡,因此,摆角 θ 的大小可以反映出试样所载荷的大小。在测力杠杆摆动后,它的上部推动推杆2向右移动,推杆上的齿再带动齿轮3和测力指针转动,测力指针在刻度盘上指出的读数,即为试样所承受的载荷值。

推杆2的端部有一记录笔尖,可直接将载荷的大小(即纵向移动量)反映在记录圆筒10外面的记录纸上。当横梁上升使试样伸长时,可通过细绳11带动记录圆筒转动,使笔尖在纸上画出伸长量的大小(即横向移动量)。在拉力试验时,试样的伸长量将随着载荷的提高而逐渐增加,故笔尖在记录纸上就自动画出载荷-伸长量曲线,即拉伸曲线。

四、拉力试样及材料

按GB228-63规定,常用拉力试样有圆形试样和板状试样两类,其中又分为标准试样和比例试样两种。目前实验室中较多采用圆形试样,如图1-2所示。当试样的标距长度 l_0 与试样直径 d_0 之比值为10时,称为长试样或10倍试样;当两者之比值为5时,称为短试样或5倍试样。

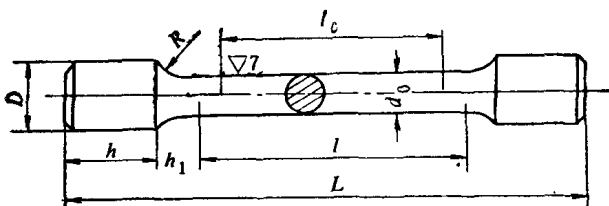


图1-2 圆形拉力试样

本实验的试样材料每组采用退火状态的低碳钢、中碳钢与高碳钢圆试样各一根 $\ominus$ 。

五、实验步骤

1. 用游标尺测量试样的原始直径 d_0 。(在互相垂直的两个方向测量,取其平均值),并记下测量数据。
2. 在试样上用划线仪(或中心冲)标出原始标距长度 l_0 。 $(l_0$ 为 $5d_0$ 或 $10d_0$)。再用游标尺测量原始标距长度 l_0 ,并记下测量数据。
3. 在了解试验机的结构后,估计本实验的载荷使用量程,装上适当的砝码。再装好记录纸、墨水笔和牵引的细绳。
4. 将低碳钢拉力试样安装在试验机的上、下钳口内,然后调整好试验机,并使测力指针调整到零位。
5. 开动电动机,打开送油阀,对试样进行拉力试验。当测力指针来回摆动或几乎不动时,表明材料已发生“屈服”,记下屈服时载荷 P_s 。当载荷继续上升到某一数值后,测力指针开始回转,这时试样开始产生“颈缩”现象,记下此最大载荷 P_b 。
6. 试样被拉断后,关闭电动机和送油阀,取下试样,并将断裂的两半试样对合起来,测量断裂后的标距长度 l_k 和颈缩处最小直径 d_k 。(在互相垂直的两个方向测量,取其平均值),并记下测量数据。
7. 取下并分析记录纸上的载荷-伸长量曲线。
8. 以同样的实验步骤,对中碳钢拉力试样和高碳钢拉力试样进行拉力试验,并分别记下有关的测量数据和载荷值。

$\ominus$ 为了有利于碳钢的成分、组织、性能间关系的分析,本实验所用的退火状态的碳钢材料,应和实验二、实验三、实验八所用材料相同,建议采用20钢、45钢、T8钢。

六、实验报告

1. 实验数据记录与整理

项 目 试验材料	试 样 断 面 尺 寸				试样长度尺寸		载 荷	
	原始直径 d_0, mm	颈 缩 处 最小直径 d_k, mm	原始横截 面 积 F_0, mm^2	颈缩处最小 横 截 面 积 F_k, mm^2	原始标距 长 度 l_0, mm	断 裂 后 标距长度 l_k, mm	屈服载荷 P_s, MN	最大载荷 P_b, MN

2. 计算各试验材料的强度指标及塑性指标

机械性能 试验材料	强 度 指 标		塑 性 指 标	
	屈 服 点 $\sigma_s = P_s/F_0, MN/m^2$	强 度 极 限 $\sigma_b = P_b/F_0, MN/m^2$	延 伸 率 $\delta = l_k - l_0/l_0 \times 100\%$	断 面 收 缩 率 $\psi = F_0 - F_k/F_0 \times 100\%$

3. 在同一坐标上绘出试验机上自动记录的三种材料的拉伸曲线, 标出 P_b 和 P_s 。并比较低碳钢与高碳钢拉伸时从载荷-变形曲线上反映出的特点。

4. 根据实验测得的强度指标值和塑性指标值，分析退火状态碳钢的含碳量与强度、塑性间的关系，并画出其关系曲线图。

5. 写出实验中所发现的问题和体会。

实验二 硬 度 试 验

一、实验目的

1. 了解布氏硬度计、洛氏硬度计的构造及使用方法。
2. 初步掌握布氏硬度值、洛氏硬度值的测定方法。
3. 初步建立碳钢的含碳量与其硬度间的关系。

二、实验概述

硬度试验设备简单，操作迅速方便，不需要专门制备试样，也不破坏被测试的工件。因此，在工业生产中，被广泛应用于产品质量的检验。此外，硬度值与其他机械性能及某些工艺性能（如切削加工性、冷成型性等）都有一定的联系，故在产品图纸的技术条件中，硬度是一项主要技术指标。

目前，在测定硬度的方法中，最常用的是压入硬度法。其中以布氏硬度和洛氏硬度应用最广。它们的试验原理都是用一定几何形状的压头，在一定载荷下压入被测的金属材料的表面，根据压头被压入的程度来测定其硬度值。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验方法是：将一直径为 D 的淬硬钢球，在规定载荷 P 的作用下压入被试金属表面，停留一定时间后卸除载荷。此时被试金属表面上形成一个直径为 d 的压痕。计算出压痕单位面积所承受的平均载荷，此即为被试金属的布氏硬度值 HB。但实际试验时都是用读数显微镜测出压痕直径 d ，再根据 d 值查对照表得出所测的硬度值。

由于不同金属材料的硬度值相差很大，若仅采用一个标准的载荷和钢球直径，就有可能使整个钢球陷入被试金属，或将薄试件压穿。故在进行布氏硬度试验时，钢球直径 D 、施加的载荷 P 和载荷保持时间都应根据被测金属的种类、硬度范围和试样厚度，按表 2-1 所示的布氏硬度试验规范进行选择。

布氏硬度试验测出的硬度值比较准确。但它不宜测定成品或薄片金属的硬度。同时，也

表2-1 布氏硬度试验规范(按GB231-63规定)

金 属 种 类		布氏硬度值 范 围 HB	试样厚度 mm	载荷 P 与 钢球直 径 D 的相互关系	钢球直径 D mm	载 荷 P kgf(10N)	载荷保持时间 s
黑色 金属	如：退火、正火、调质状态的中碳钢和高碳钢，灰口铸铁等	140~450	6~3	$P = 30D^2$	10.0	3000	10
			4~2		5.0	750	
			<2		2.5	187.5	
	如：退火状态的低碳钢，工业纯铁等	<140	>6 4~2 <2	$P = 10D^2$	10.0 5.0 2.5	1000 250 62.5	10
有 色 金 属	如：特殊青铜、钛及钛合金等	>130	6~3	$P = 30D^2$	10.0	3000	30
			4~2		5.0	750	
			<2		2.5	187.5	
	如：铜、黄铜、青铜、镁合金等	36~130	9~3	$P = 10D^2$	10.0	1000	30
			6~3		5.0	250	
			<3		2.5	62.5	
	如：铝及轴承合金等	8~36	>6 6~3 <3	$P = 2.5D^2$	10.0 5.0 2.5	250 62.5 15.6	60

不能测定硬度高于 HB450 的金属材料, 否则压头 (淬硬钢球) 会产生塑性变形, 而降低测量的精度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验方法是以一个锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 $1.588\text{ mm}\left(\frac{1}{16}\text{ in}\right)$ 的钢球为压头, 在先后两次载荷 (初载荷与主载荷) 作用下压入被试金属表面, 然后卸除主载荷, 在保留初载荷情况下, 测出由主载荷引起的塑性变形的压入深度 h , 再由 h 值确定洛氏硬度值 HR。 h 值愈大时, 被试金属的洛氏硬度值 HR 愈低; 反之, 则愈高。在实际试验时, 都是由硬度计的指示器表盘上直接读出所测的硬度值。

洛氏硬度试验时, 可用不同压头和不同的主载荷, 组成不同的洛氏硬度标尺。最常用的是 HRA、HRB、HRC 三种, 其中 HRC 适用于测量硬度值高于 HB230 的较硬金属; HRB 适用于测量硬度值低于 HB230 的较软金属; HRA 适用于测量硬脆的金属材料或浅层表面硬化的金属。

洛氏硬度试验操作迅速简便, 且压痕较小, 可以测定成品或较薄金属的硬度, 故目前生产上应用广泛。

退火状态碳钢的硬度一般是随着含碳量的增加而逐渐增加。

三、实验设备

1. 布氏硬度

布氏硬度试验主要设备有布氏硬度计和读数显微镜。常见的布氏硬度计有液压式和机械式两大类。图 2-1 为 HB-3000 型机械式布氏硬度计。试验时将试样 4 放在工作台 3 上, 按顺时针方向转动手轮 2, 使工作台上升至试样与压头 5 接触, 并在手轮打滑后, 再开动电动机 1, 经二级蜗轮蜗杆减速器 12 减速后, 驱动连杆 10 与摇杆 8 向下运动, 此时压头即可由砝码 11 通过大杠杆 9、小杠杆 7 及压轴 6 作用, 以一定大小的载荷压入试样。停留一定时间后, 电动机自动反转, 曲柄连杆带动摇杆上升而卸除载荷。在关闭电动机后, 反时针方向转动手轮, 使工作台下降并取下试样。最后用

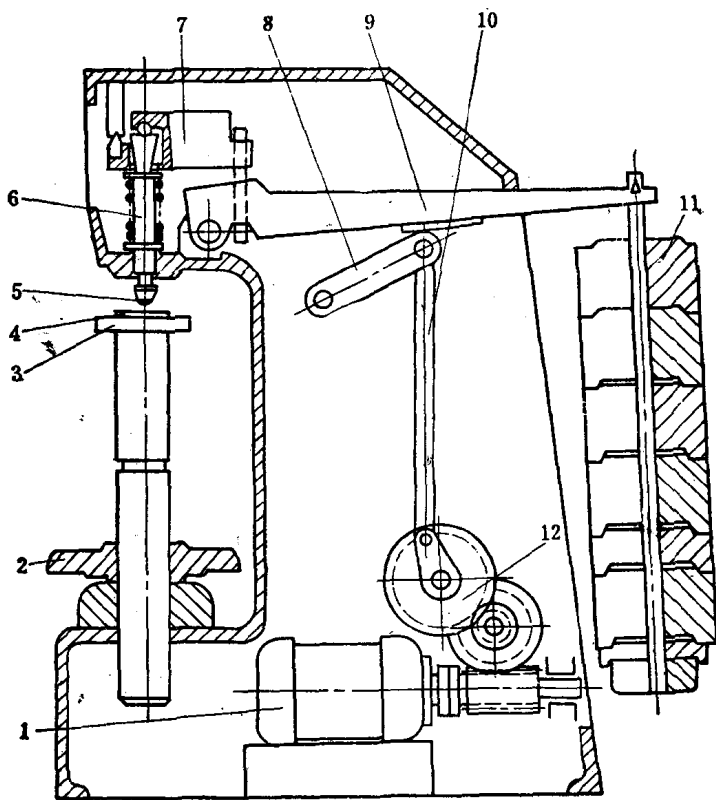


图2-1 HB-3000型布氏硬度计

1—电动机 2—手轮 3—工作台 4—试样 5—压头 6—压轴 7—小
杠杆 8—摇杆 9—大杠杆 10—连杆 11—砝码 12—减速器

读数显微镜测出压痕直径 d , 如图 2-2 所示。根据 d 的大小查表即可求得布氏硬度值。

2. 洛氏硬度

图 2-3 为 HR-150 型 (原 H-100 型) 洛氏硬度计。试验时将试样 6 放在工作台 5 上, 按

顺时针方向转动手轮 3，使工作台上升至试样与压头 7 接触，继续转动手轮，通过压头和压轴 8 顶起杠杆 10，并带动指示器表盘 9 的指针转动。待小针对准黑点，大针置于垂直向上位置时（左右偏移不超过 5 格），试样即已施加了 $10\text{kgf}(100\text{N})$ 的预载荷，随后转动指示器表盘使大针对准“0”（测 HRB 时对准“30”），再按下按钮 1 释放转盘 4，在砝码 11 重量的作用下，顶杆 12 便在缓冲器 15 的控制下匀缓下降，使主载荷通过杠杆、压轴和压头作用于试样上。停留数秒钟后再扳动手柄 2，使转盘顺时针方向转动至原来被锁住的位置。由于转盘上齿轮使扇齿轮 13、齿条 14 同时运转而将顶杆顶起，卸除了主载荷。这时指示器指针所指的读数即为所求的洛氏硬度值（HRC 和 HRA 读 C 标尺，HRB 读 B 标尺）。

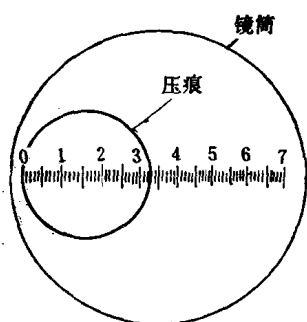


图2-2 测量压痕直径的示意图

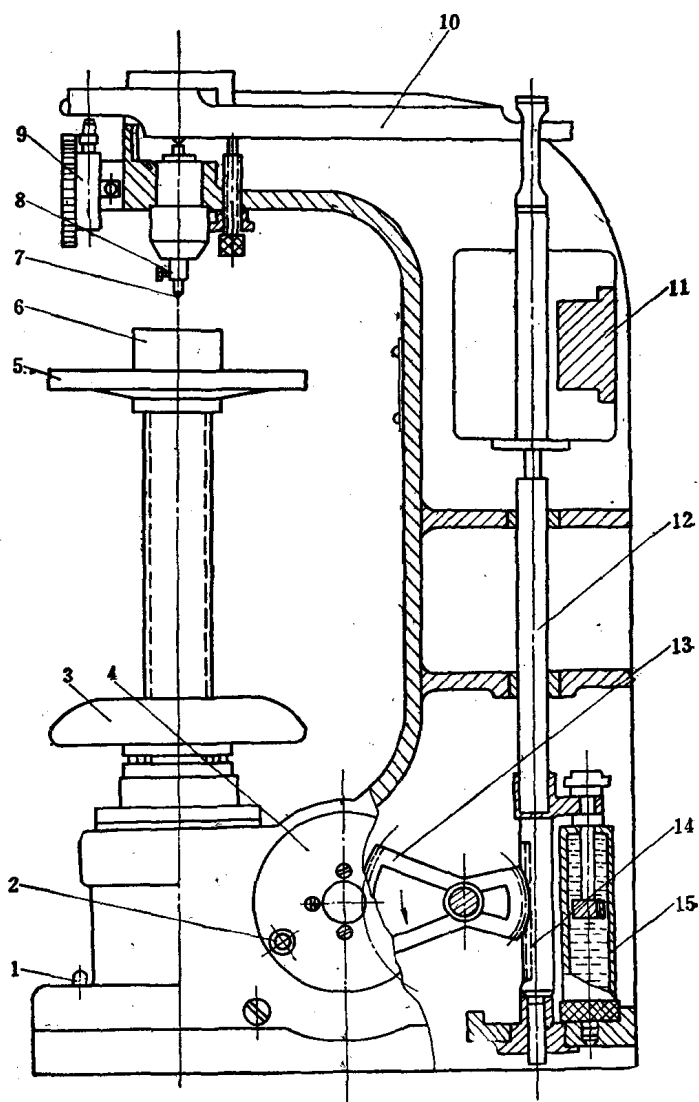


图2-3 HR-150型洛氏硬度计

- 1—按钮 2—手柄 3—手轮 4—转盘 5—工作台 6—试样
7—压头 8—压轴 9—指示器表盘 10—杠杆 11—砝码
12—顶杆 13—扇齿轮 14—齿条 15—缓冲器

四、实验材料[⊖]

布氏硬度		退火状态的低碳钢、中碳钢、高碳钢
洛氏硬度	HRB	退火状态的低碳钢、中碳钢、高碳钢
	HRC	淬火状态的中碳钢或高碳钢

⊖ 本实验所用的退火状态的碳钢材料，应与实验一所用材料相同。

(2) 洛氏硬度

项 目 试验材料及 其处理状态	试 验 规 范			实 验 结 果				换算成布 氏硬度值 HB
	压 头	总载荷 P kgf(N)	硬度标尺	第 一 次	第 二 次	第 三 次	平均硬度值	

2. 根据实验测得的硬度值, 分析退火状态碳钢的含碳量与硬度间的关系, 并画出其关系曲线图。

实验三 冲击试验

一、实验目的

1. 了解冲击试验机的构造及使用方法。
2. 初步掌握金属材料韧性的测定方法。
3. 初步建立碳钢的含碳量与其冲击韧性间的关系。

二、实验概述

一次冲击弯曲试验是测定金属材料韧性的常用方法。它是将一定尺寸和形状的金属试样放在试验机的支座上，再将一定重量的摆锤升高到一定高度，使其具有一定位能，然后让摆锤自由下落将试样冲断。摆锤冲断试样所消耗的能量即为冲击功 A_k 。 A_k 值的大小代表金属材料韧性的高低。但习惯上仍采用冲击韧性值 a_k 表示金属材料的韧性。冲击韧性 a_k 是用冲击功 A_k 除以试样断口处的原始横截面积 F 来表示的。

退火状态碳钢的韧性随着含碳量的增加而逐渐下降。

三、实验设备及用品

冲击试验主要设备和用品为冲击试验机和测量试样尺寸用的游标尺。冲击试验机有手动和半自动两种。常用的手动摆锤式冲击试验机如图 3-1 所示。试验时先把手柄 5 拨至“预备”位置，然后将摆锤 7 稍加抬起并固定后，把试样放在支座的钳口 1 上，再把摆锤抬到试验高度，使插销插入摆轴 6 的槽内。待一切准备完毕后，将手柄由“预备”位置拨至“冲击”位置，这时摆锤就以摆轴为旋转中心而自由下落。当摆锤冲断试样后，其剩余能量又使摆锤向另一方向扬起一定高度，这时将手柄再拨至“停止”位置，使摆锤停止摆动。

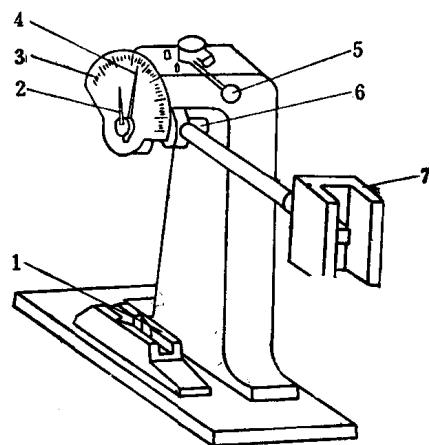


图 3-1 手动摆锤式冲击试验机

1—支座钳口 2—拨针 3—刻度盘 4—指针
5—手柄 6—摆轴 7—摆锤

试样的冲击功 A_k 值由指针 4 指示。因为，当摆锤自由下落时，拨针 2 即随其一起转动。待拨针碰到指针后，又带动指针一起转动。但当摆锤回摆，拨针反转时，指针停止不动。这时指针在刻度盘 3 上指出的读数，即为试样所承受的冲击功值。

半自动摆锤式冲击试验机的构造原理与手动的基本相同，但摆锤的上扬与下击等均可用按钮操纵电动机来完成。

四、冲击试样及材料

冲击试样的类型较多，我国 GB229-63 规定采用梅氏试样作为标准试样，其形状和尺寸如图 3-2 所示。

本实验的试样材料每组采用退火状态的低碳钢、中碳钢与高碳钢试样各一根[⊖]。

⊖ 本实验所用的退火状态的碳钢材料，应和实验一所用材料相同。

五、实验步骤

1. 检查试样有无缺陷。用游标尺测量试样缺口处的断面尺寸，并记下测量数据。
2. 在了解试验机的结构后，先进行一次空击试验。如无不正常的摩擦及阻力存在，空击后指针与刻度盘上的零点位置的误差应小于半小格（即 $0.1 \text{ kgf} \cdot \text{m}$ ，折合成国际单位为 $1 \text{ N} \cdot \text{m}$ 或 1 J ）。

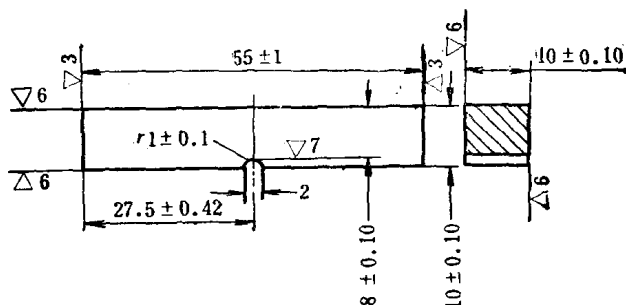


图3-2 冲击试样

3. 装置低碳钢冲击试样。在装置试样时应使试样缺口背向摆锤的刀口，并用找正样板使试样处于支座的中心位置。然后按试验机的操作顺序进行试验。

4. 读出指针在刻度盘上指出的冲击功 A_k 值，并作好记录。
5. 观察试样的断口特征。
6. 以同样的实验步骤，对中碳钢冲击试样和高碳钢冲击试样进行冲击试验，并分别记下有关的测量数据和冲击功值。然后观察试样的断口特征。

六、实验注意事项

1. 在试验机摆锤运动的平面内，严禁站人，以防因摆锤运动或击断的试样飞出伤人。
2. 未经许可，不准随便搬动摆锤和控制手柄。
3. 在装置冲击试样时，应将摆锤用支持架支住。切不可将摆锤抬高到预备位置，以防摆锤偶然落下时造成严重事故。
4. 当手柄在“预备”位置，摆锤已抬至预定的试验高度后，应平稳缓慢地将手放开，并使插销插入摆轴的槽内，以防放手过急而冲断插销。
5. 当试样被冲断而摆锤尚在摆动时，不能将手柄拨回至“预备”位置，以防插销的头部与摆轴发生摩擦或插销有可能插入摆轴的槽内而被冲断。

七、实验报告

1. 根据实验记录，填写下表。

试验材料 及其处理状态	试验温度	试样缺口处断面尺寸			冲击功 A_k kgf·m (N·m)	冲击韧性 a_k J/cm ²	断口特征
		高, cm	宽, cm	断面积, cm ²			