

教育部高职高专推荐教材
Jiaoyubu Gaozhi Gaozhuan Tuijian Jiaocai

金工实验

工科各类专业适用

田柏龄 主编



华航Z0196256

高等教育出版社
HIGHER EDUCATION PRESS



教育部高职高专推荐教材

金 工 实 验

· 工科各专业适用 ·

田柏龄 主编

高等教育出版社

内 容 简 介

本书是高等学校工程专科《金属工艺学》讲课教材的配套教材,按新修订的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》编写。内容包括:机械工程材料实验,热加工工艺基础实验和机械加工工艺基础实验。实验分为基础实验、选做实验、设计性实验和综合性实验。

本书适用于机械类专业,亦可供非机类专业选用及工程技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

金工实验/田柏龄主编;周应兵等编著. —北京:高等教育出版社, 1997.7 (2000重印)
高等学校工程专科教材·工科各类专业适用
ISBN 7-04-005974-6

I. 金… I. ①田… ②周… III. 金属加工-工艺-实验-高等学校-教材 N. TG-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (97) 第 06079 号

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街55号

电 话 010—64054588

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

邮政编码 100009

传 真 010—64014048

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 河北省香河县印刷厂

开 本 787×1092 1/16

印 张 6.75

字 数 160 000

版 次 1997年7月第1版

印 次 2000年6月第3次印刷

定 价 6.20元

凡购买高等教育出版社图书,如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请在所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

前 言

本书是根据新修订的《高等学校工程专科金属工艺学课程教学基本要求》编写，与《金属工艺学》讲课教材配套使用的实验教材，适用于机械类专业，亦可供非机类专业选用。

本书包括了金属力学性能、组织与成分分析实验；热处理工艺及其组织分析实验；金属工艺性能实验；铸件、锻件与焊接件的结构工艺性分析实验，以及特种加工、数控模拟加工和微机编程实验。

本书在编排上，立足于培养应用性人才，加强对学生基本技能的训练，将实验分为基础实验、选做实验和设计性实验，以及少量的综合性实验。基础实验的目的在于培养学生掌握实验方法与技能，是教学要求必须做的实验。选做实验是根据专业要求选择做的实验，也是为了进一步强化学生技能的训练。设计性实验要求学生根据实验目的与要求以及提供的仪器设备，自行设计实验方法、步骤，以提高独立实验能力。综合性实验要求学生综合所学知识 with 技能，通过实践提高独立解决技术问题的能力。

本书每个实验都附有一定数量的思考题，是针对实验拟出的，要求学生除认真写出实验报告外，还要对思考题作出回答，以便取得更好的实验教学效果。

书中带“*”号的实验为选做实验，带“**”号的为设计性实验，其它为基础实验和综合性实验。

本书由田柏龄（绪论，机械工程材料实验 I-1、I-2、I-3，II-1、II-2，III-1、III-2 和 IV）、周应兵（机械工程材料实验 II-3、II-4，III-3 和热加工工艺基础实验 I-4，II-4，III-4）、柳秉毅（热加工工艺基础实验 I-1、I-2、I-3，II-1、II-2、II-3，III-1、III-2、III-3）和屈丽（机械加工工艺基础实验）执笔编写，并由田柏龄担任主编。

本书由国家教委高等学校工程专科机械基础课委会金工课程组组织评审通过，并推荐作为高等学校工程专科的实验教材。本书由南京机械高等专科学校金禧德副教授担任主审。参加审稿的有洛阳工业高等专科学校周大恂副教授、哈尔滨理工大学工业技术学院司乃钧教授、华北航天工业学院张继世教授。

在编写过程中，得到了哈尔滨工业大学张学仁教授的指导与帮助，并为本书编写提供了有关资料，济南交通高等专科学校包红梅实验师绘制了部分插图，在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平有限，书中难免有错误或欠妥之处，敬请读者和同行提出批评建议，不胜企盼。

编 者

1997-03

责任编辑	杨宪玲
封面设计	王 唯
责任绘图	陈 岩
版式设计	李心桂
责任校对	杨宪玲
责任印制	陈伟光

目 录

绪论.....	1
一、机械工程材料实验.....	3
I 金属力学性能实验.....	3
* I-1 强度与塑性指标的测定.....	3
I-2 硬度试验.....	5
* I-3 冲击韧度试验.....	11
II 金属组织与成分分析实验.....	13
II-1 金相显微试样的制备.....	13
II-2 铁碳合金平衡组织的观察.....	16
* II-3 铸铁、铜合金、铝合金的显微组织观察.....	17
II-4 钢的火花鉴别.....	18
III 钢的热处理工艺与分析实验.....	21
III-1 钢的淬火及回火工艺分析实验.....	21
* III-2 碳钢热处理显微组织的观察.....	23
* III-3 钢的淬透性与回火稳定性分析实验.....	24
IV 金属材料综合分析实验.....	25
二、热加工工艺基础实验.....	27
I 金属热加工工艺性能实验.....	27
I-1 合金铸造应力测定实验.....	27
** I-2 合金流动性与充型能力分析实验.....	31
I-3 金属锻造性能分析实验.....	34
I-4 钢的焊接性能分析实验.....	36
II 金属热加工的组织与性能分析实验.....	38
* II-1 铸造过程细化晶粒分析实验.....	38
II-2 冷变形强化与再结晶的组织及性能分析实验.....	40
** II-3 锻造流线组织及其对零件力学性能的影响分析实验.....	42
II-4 焊接接头组织分析实验.....	44
III 铸、锻、焊接件结构工艺性及冲模结构分析与拆装实验.....	46
* III-1 铸件结构工艺性分析实验.....	46
** III-2 锻压件结构工艺性分析实验.....	51
III-3 冲压模具结构分析与拆装、调试实验.....	52
** III-4 手弧焊焊件结构工艺分析实验.....	57
三、机械加工工艺基础实验.....	59
I 刀具与切削用量实验.....	59
I-1 车刀几何角度测量.....	59

** I - 2	切削用量对车削加工的影响分析	62
II	车削工艺分析实验	64
** II - 1	装夹方法对零件精度的影响分析	64
* II - 2	车刀磨损的辨别与分析	65
II - 3	钢的切削性能分析	68
II - 4	车削工艺综合分析实验	69
III	特种加工、数控及微机编程实验	71
III - 1	电火花线切割加工	71
III - 2	数控铣床模拟加工	77
III - 3	数控线切割的微机编程实验	83
附录	金属布氏硬度 (HB) 数值表	92

绪 论

金属工艺学是一门实践性很强的综合性技术学科,我国普通高等学校工程专科机械类专业教育,已将其列为必修的技术基础课。通过本课程的教学,可使学生获得关于机械制造的基本知识,包括制造机器所用的材料,冷、热加工工艺,零件制造工艺过程与机器装配的工艺知识。随着现代科学技术的发展,还要讲授新材料、新技术、新工艺和新设备。本课程的实践性,要求教学过程中对学生进行技术训练,培养学生具有一定的实际能力和开拓精神。金工实验就是进行技术训练的手段。

所谓金工实验,就是利用仪器、设备,在人为条件下,对所学的基础理论、基本工艺进行复制和模拟。其目的,不应简单地理解为能够动手操作仪器设备,而是对学生进行工程意识训练,是金工教学的深化过程,使学生在所学知识得到巩固、深化的同时,在如何运用基础理论、基本工艺知识,实验方法与实验技术,解决技术问题方面受到必要的基本训练。同时还培养学生严谨的科学态度、科学作风和辩证唯物主义的世界观,提高动手能力、思维能力与创造性的活动能力。

金工实验的主要教学内容,包括机械工程材料实验、热加工工艺基础实验与机械加工工艺基础实验等三部分。在这些实验中,含有金属力学性能实验、金属组织、成分分析实验与冷、热加工工艺实验,以及特种加工、数控和微机编程实验等等。

金工实验的要求:

1. 实验前预习

实验前应认真预习本次实验内容,明确实验目的,弄清实验的基本原理,了解实验所用仪器设备的工作原理及使用方法,以及初步掌握实验的方法、步骤。有些实验要求学生根据实验目的、要求及所提供的仪器设备,自己设计实验方法与实验步骤。学生设计的实验方案,经教师批准后方可实施。

2. 主动、认真地进行实验

学生要有意识地培养良好的实验素养,主动认真地做好每一个实验。进入实验室后,自觉遵守实验室规则,听取教师指导,认真、仔细地操作仪器设备,留心观察实验中产生的现象,并加以思考。发现异常现象或仪器出现故障要及时提出来,在教师的指导下予以纠正或排除。实验中观察到的现象和得出的数据,应及时记录下来。

3. 写好实验报告

写实验报告是对实验进行总结、巩固、提高与深化实验收获的过程。对记录的实验数据及实验情况应进行认真的计算分析,提出确实的数据材料,但不能拼凑数据。这样得出的实验结果是正确的,结论是有根据的。分析实验结果欠佳、误差超差的原因,以培养实事求是的科学态度和概括总结的能力。

金工实验教学是重要的实践教学环节,教师在实验过程中的主导作用非常重要,应使学生的主动性和兴趣得到充分的发挥,动手与动脑密切结合,探讨每个实验的真谛,以取得良好的教学效果。

关于金工实验的场地,有些实验项目,如力学性能实验,金相组织的观察等,可在实验室

进行，有些实验项目，如铸造、锻压、焊接和机械加工的工艺实验等，可在金工实习车间进行。

一、机械工程材料实验

I 金属力学性能实验

*I-1 强度与塑性指标的测定

〔实验目的〕

1. 测定金属的强度指标（屈服点 σ_s ，抗拉强度 σ_b ）和塑性指标（伸长率 δ ，断面收缩率 ψ ）。
2. 加深对强度、塑性及拉伸曲线的理解。
3. 了解万能材料试验机的大致结构与实验原理。

〔实验原理〕

将标准试样装夹在拉伸试验机上，缓慢加载，随着载荷不断增加，试样的伸长量也逐渐增大，直至试样拉断为止。通过试验机的绘图装置，可绘出拉伸曲线，并能测出金属材料的有关性能指标。

在实验过程中，测得试样屈服时最小载荷 F_s ，断裂前所承受的最大载荷 F_b ，并测得试样的原始横截面面积 S_0 ，拉断缩颈处最小横截面面积 S_k ，原始标距长度 l_0 与拉断后的标距长度 l_k ，就可以按计算公式： $\sigma_s = F_s / S_0$ ， $\sigma_b = F_b / S_0$ ， $\delta = (l_k - l_0) / l_0 \times 100\%$ ， $\psi = (S_0 - S_k) / S_0 \times 100\%$ ，求得 σ_s 、 σ_b 、 δ 和 ψ 等性能指标。

〔实验设备与工具〕

1. 游标卡尺。
2. 万能材料试验机。图1-1为WE-600型液压万能材料试验机外形图，图1-2为其工作原理图。它由机座、立柱、工作油缸和测力装置等部分组成。

〔试样〕

根据GB 6397—86《金属拉伸试验试样》规定，拉伸试样按原始标距长度 l_0 与原始横截面面积 S_0 之间的关系，分为长试样和短试样两种，统称标准试样，如图1-3所示。

长试样： $l_0 = 10d_0 = 11.3/\sqrt{S_0}$

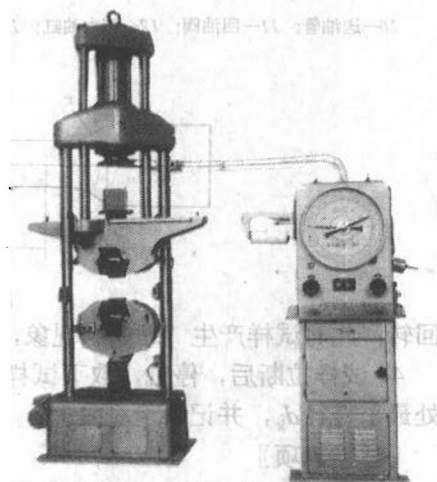
短试样： $l_0 = 5d_0 = 5.65/\sqrt{S_0}$

试样材料：低碳钢（20钢或Q215-A、Q235-A）。

〔实验步骤〕

1. 检查试样表面是否符合技术要求，测量其直径 d_0 、标距长度 l_0 ，并作上标记。

2. 了解试验机的结构、工作原理，检查各部分运行是否正常，然后将试样装夹在试验机的上、下



钳口内。

3. 将测力盘指针调零, 开动机器, 缓慢地加载荷。当测力盘指针来回摆动或几乎不动时, 此时为屈服现象, 记录屈服载荷 F_s , 然后指针继续转动, 载荷到达某一数值时, 指针开

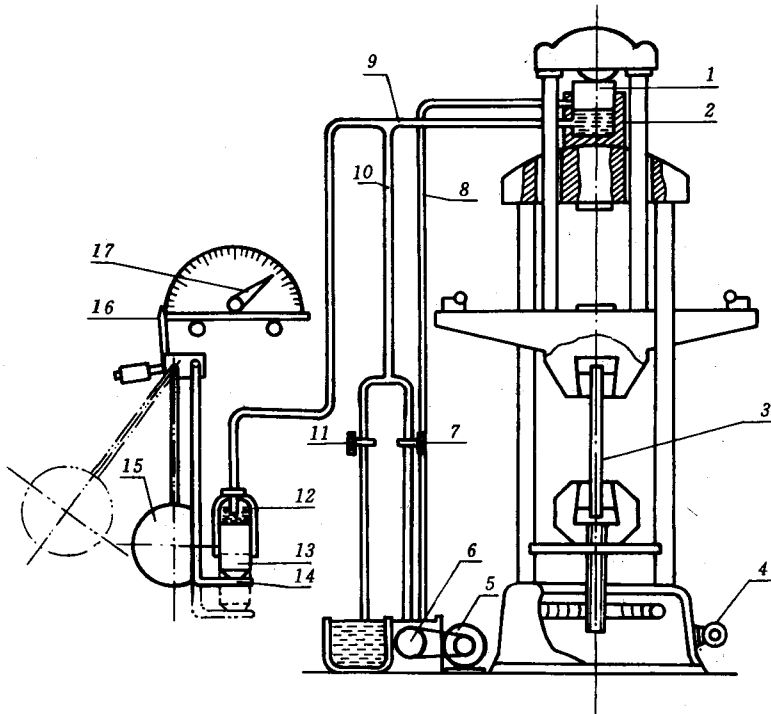


图1-2 万能试验机工作原理图

1—大活塞；2—工作油缸；3—试样；4—下夹头电动机；5—油泵电动机；6—油泵；7—关油阀；8—渗油回油管；9—测力油管；10—送油管；11—回油阀；12—测力油缸；13—测力活塞；14—测力拉杆；15—摆锤；16—推杆；17—测力盘指针

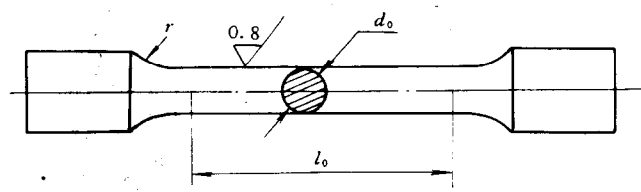


图1-3 标准拉伸试样

始回转, 此时试样产生“缩颈”现象, 记录载荷 F_b , 直至拉断试样。

4. 试样拉断后, 停机, 取下试样, 将已断的试样接合, 用游标卡尺测量标距长度 l_0 和断口处最小直径 d_k , 并记录于表内。

【注意事项】

1. 实验前, 检查试验机运行是否正常。
2. 试样装夹要牢固, 否则影响实验效果。

试验数据记录表

材 料 名 称	处 理 方 法	试样标距长度		试样截面尺寸				拉伸载荷		备 注
		mm		mm				N		
		原始标距 l_0	拉断后标距 l_k	原始直径 d_0	缩颈处直径			屈服载荷 F_s	最大载荷 F_b	
					d_{k1}	d_{k2}	$d_{k均}$			

3. 实验过程中注意观察“屈服”与“缩颈”现象，确定 F_s 和 F_b 值。

4. 仔细测量拉断试样的 d_k 与 l_k ，取值尽量精确。

5. 作好记录。

【思考题】

1. 做拉伸试验时为什么要用标准试样？试样的长度对 δ 、 ψ 的大小是否有影响？为什么？

2. 如何确定试样的标距长度？怎样测得较精确的拉断后标距长度（ l_k 值）？

3. 实验过程中，怎样判断“屈服”现象和确定屈服载荷的大小？

4. 抗拉强度的载荷值（ F_b ）是怎样确定的？“缩颈”一般产生在试样的哪个部位，为什么？

【实验报告内容及要求】

1. 实验目的。

2. 拉伸实验原理。

3. 试样材料。

4. 简述实验步骤。

5. 实验数据整理与计算。

6. 实验结果与结论。

7. 建议与要求。

I-2 硬度试验

【实验目的】

1. 加深理解金属硬度的概念，了解其试验方法，根据不同金属（或金属制件）的性能特点，能够正确地选择测定硬度的方法。

2. 了解布氏、洛氏硬度计的构造及工作原理，熟悉它们的操作方法。

【实验原理】

1. 布氏硬度试验原理

将一定直径的淬火钢球或硬质合金球，以相应试验力压入被测金属表面，并经规定的保持时间后，卸除试验力，以压痕单位面积上承受试验力的大小确定被测金属的硬度值，用HB表示，见图1-4。

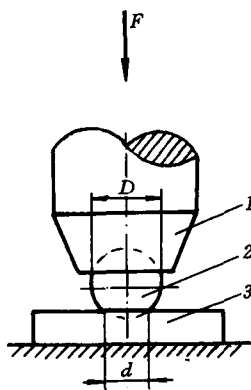


图1-4 布氏硬度试验原理示意图

1—压头；2—钢球；3—试样

2. 洛氏硬度试验原理

将一顶角为 120° 的金刚石圆锥或直径为1.588 mm的淬火钢球，在初试验力和总试验力（初试验力+主试验力）先后作用下压入金属表面，经规定的保持时间后，卸除主试验力。以压痕深度确定金属的硬度值（如图1-5所示），用HR表示。其表达式为

$$HR = K - db/0.002$$

规定以压头每压入0.002 mm深度为一个洛氏单位，即表盘上指针转过一小格。当压头由b处移至d处时，指针转过的格数为 $db/0.002$ 。为了适应人们习惯数值愈大硬度愈高的认识，故用一常数K减去 $db/0.002$ 作为硬度值。K值随压头材料不同而改变，金刚石圆锥为100，淬火钢球为130。

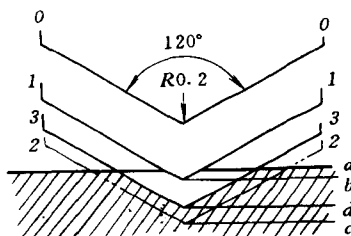


图1-5 洛氏硬度试验原理示意图

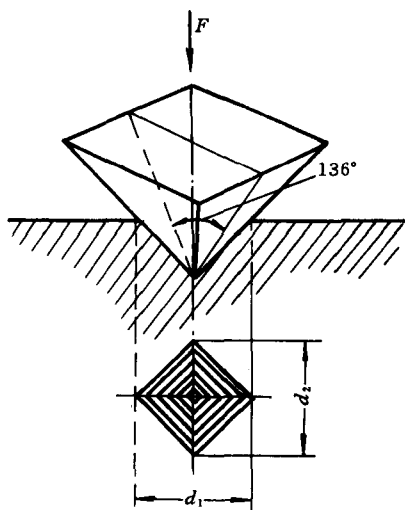


图1-6 维氏硬度试验原理示意图

3. 维氏硬度试验原理

基本上与布氏硬度试验原理相同，不同的是，压头是两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石，如图1-6所示。维氏硬度值用HV表示，其表达式为

$$HV = 0.1891 \times F/d^2 \quad \text{kgf/mm}^2$$

式中：F——试验力，N；

S——压痕表面积， mm^2 ；

d——压痕对角线长度的算术平均值。

〔实验设备〕

1. 布氏硬度试验计。图1-7为HB-3000型布氏

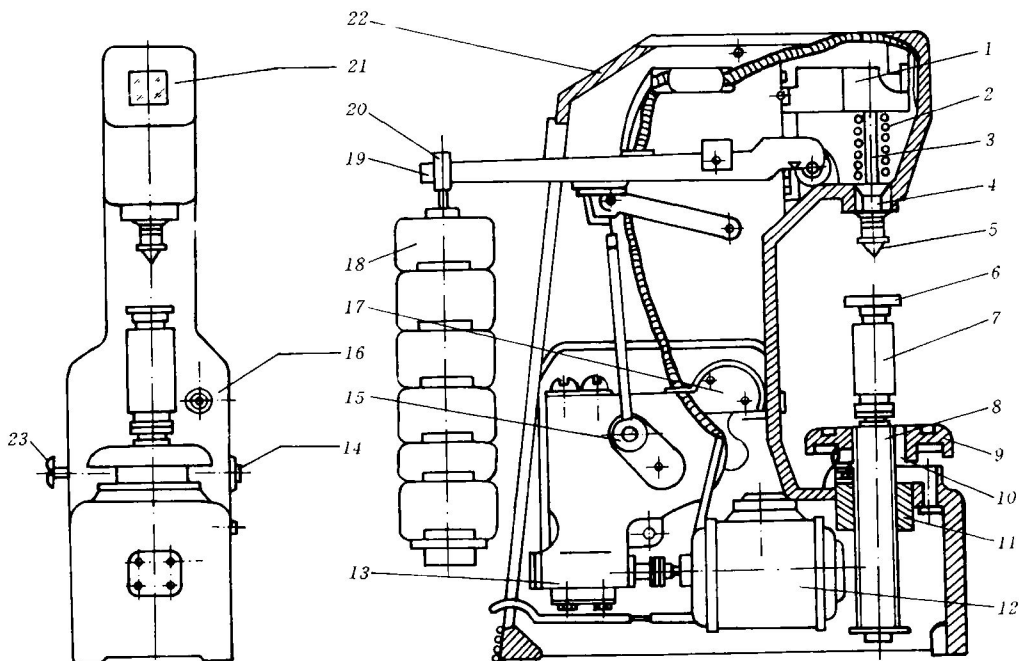


图1-7 HB-3000型布氏硬度计简图

1—小杠杆；2—弹簧；3—压轴；4—主轴衬套；5—压头；6—工作台；7—工作台立柱；8—螺杆；9—升降手轮；10—螺母；11—套筒；12—电机；13—减压器；14—压紧螺钉；15—轴柄；16—按钮头；17—换向开关；18—砝码；19—大杠杆；20—吊环；21—加力指示灯；22—机体；23—电源开关

硬度计简图。

2. 洛氏硬度试验计。图1-8为HRU-150AT型光学洛氏硬度计。图1-9为HR-150A型洛氏硬度计简图。

3. 维氏硬度试验计。

4. 读数显微镜。

【实验用试样及要求】

试样选用退火钢（20、45、T8）、淬火钢（45、60、T8、T12）、铜合金、铝合金，或上述材料制造的零件。根据GB/T 230—91和GB/T 231—91规定，试样厚度至少为压痕深度的10倍，且表面光滑，无氧化污物，无凹坑和明显的加工痕迹，表面粗糙度 R_a 值 $\leq 0.8 \mu m$ ，测定维氏硬度时 R_a 值应不大于 $0.2 \mu m$ 。

【实验步骤】

分组轮换进行各种硬度试验。学生要完成布氏、洛氏硬度试验。维氏硬度试验可进行演示。

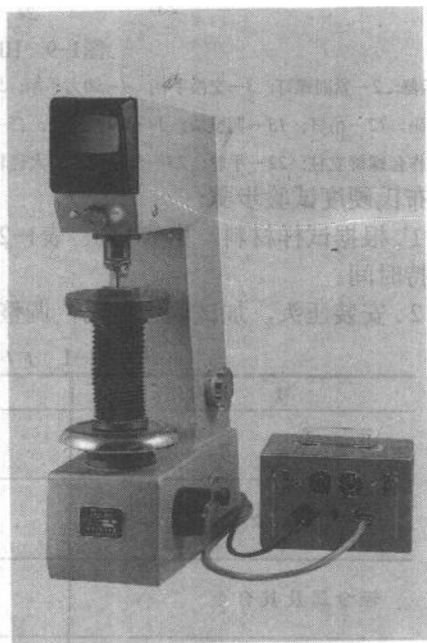


图1-8 HRU-150AT型光学洛氏硬度计

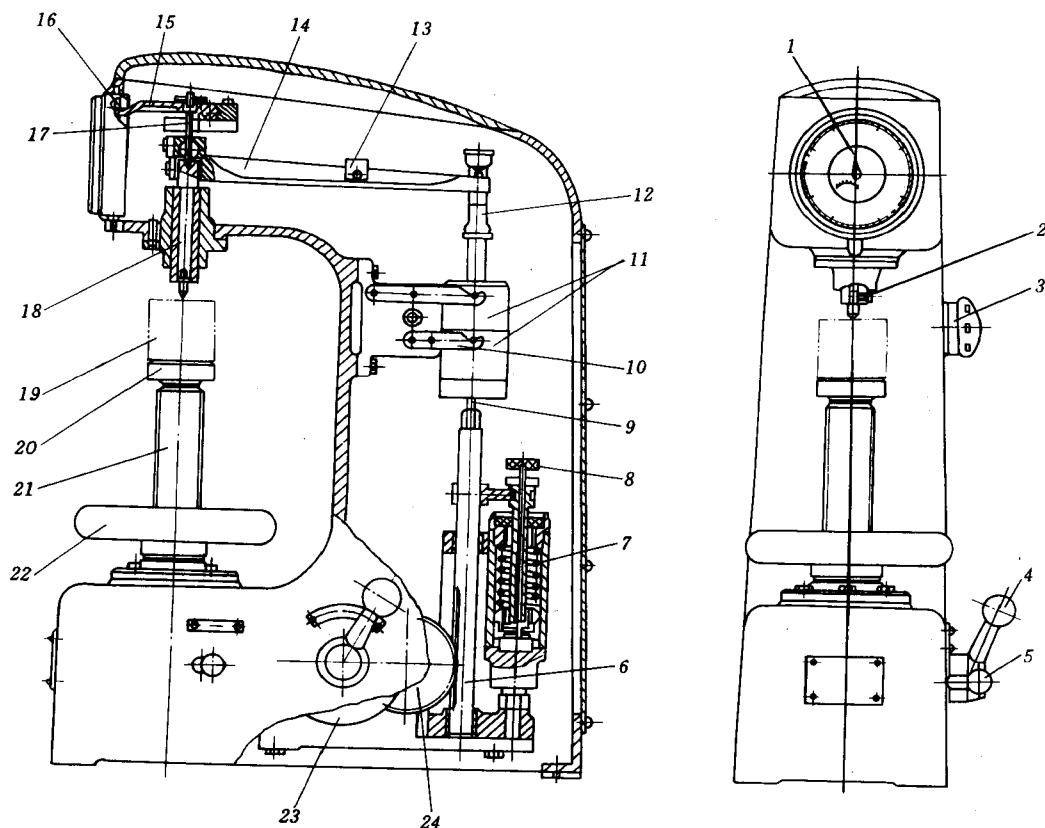


图1-9 HR-150A型洛氏硬度计简图

1—指示器；2—紧固螺钉；3—交换手柄；4—卸力手柄；5—加力手柄；6—齿条；7—缓冲器；8—油针；9—顶杆；10—砝码交换架；11—砝码；12—吊杆；13—调整块；14—加力杠杆；15—小杠杆；16—接杆；17—顶杆；18—主轴；19—试样；20—工作台；21—工作台螺旋立柱；22—手轮；23—凸轮；24—大齿轮

布氏硬度试验步骤:

1. 根据试样材料，由表1-1、表1-2和表1-3确定 F/D^2 值、压头直径和试验力，以及试验力保持时间。
2. 安装压头，加试验力砝码，调整时间定位器的位置。

表1-1 F/D^2 的选择 (摘自GB 231—84)

材 料	布 氏 硬 度	F/D^2
钢及铸铁	< 140	10
	> 140	30
铜 及 其 合 金	< 35	5
	35 ~ 130	10
	> 130	30
轻 金 属 及 其 合 金	< 35	2.5 (1.25)
	35 ~ 80	10 (5或15)
	> 80	10 (15)
铅、锡		1.25 (1)

注: 1. 当试验条件允许时，应尽量选用直径为10 mm的球。

2. 当有关标准中没有明确规定时，应使用无括号的 F/D^2 值。

表1-2 F 、 D 的选择 (摘自GB 231-84)

硬度符号	压头直径 D /mm	F/D^2 ($0.102 F/D^2$)	试验力 F /kgf
HBS (HBW) 10/3 000	10	30	3 000 (29.42 kN)
HBS (HBW) 10/1 500	10	15	1 500 (14.71 kN)
HBS (HBW) 10/1 000	10	10	1 000 (9.807 kN)
HBS (HBW) 5/750	5	30	750 (7.355 kN)
HBS (HBW) 5/250	5	10	250 (2.452 kN)
HBS (HBW) 2.5/187.5	2.5	30	187.5 (1.839 kN)
HBS (HBW) 2/120	2	30	120 (1.177 kN)
HBS (HBW) 1/30	1	30	30 (294.2 N)

表1-3 试验力保持时间的选择

金属材料	钢及铸铁	有色金属	
		HBS = 8 ~ 35	HBS > 35
保持时间 t /s	10 ~ 15	60 ± 2	30 ± 2

3. 安放试样, 并使其与压头紧密接触。

4. 接通电源, 启动压力开关, 对试样施加压力, 当加力指示灯21亮时, 迅速旋紧压紧螺钉14(见图1-7)。从加力指示灯亮到熄灭为试验力保持时间。待电机停止转动后, 取下试样。

5. 用读数显微镜测量压痕两个相互垂直方向的直径, 取其平均值。

6. 根据压痕平均直径, 由附表查得布氏硬度值, 并记录于下表内。

布氏硬度数据记录表

材料名称	处理状态	试验规范				实验结果									
		钢(硬质合金)球直径 D mm	试验力 F kgf (N)	F/D^2 ($\frac{0.102F}{D^2}$)	试验力保持 时间 t	第一次					第二次				
						压痕直径 d mm			硬度值		压痕直径 d mm			硬度值	
						d_1	d_2	d_3	HBS	HBW	d_1	d_2	d_3	HBS	HBW

试验时应注意以下两点:

1. 试验后, 压痕直径应在 $(0.25 \sim 0.6) D$ 之间, 否则无效, 应换用其它试验力重新试验。

2. 压痕中心至试样边缘的距离, 应不小于压痕直径的2.5倍, 两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的4倍。

洛氏硬度试验步骤:

1. 根据试样材料估计其硬度值, 由表1-4选择压头类型和初、主试验力。

表1-4洛氏硬度的试验条件及应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力 $F/\text{kgf (N)}$	硬度值 有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	60 (588.4)	70 ~ 85	硬质合金、表面淬火钢、渗碳钢等
HRB	$\phi 1.588 \text{ mm}$ 钢球	100 (980.7)	25 ~ 100	有色金属、退火钢、淬火钢等
HRC	120° 金刚石圆锥体	150 (1471.1)	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

2. 根据试样形状和大小, 选择适宜的工作台, 将试样平稳地放置在工作台20上, 见图1-9。

3. 顺时针方向缓慢地转动手轮22, 使试样与压头接触, 继续转动手轮, 并观察指示器1上的小指针, 待其指于规定标志后, 停止转动手轮, 此时表明已加上初试验力。若小指针超过规定标志, 应卸除初试验力, 更换试验位置。

4. 转动调整盘使大指针对准表盘刻度“0”处。(测定HRA或HRC值时, 对准刻度“0”处; 测定HRB时对准红色刻度“30”处。)

5. 拉动加力手柄5, 加主试验力, 此时, 指示器上大指针转动。待其停止转动后, 加主试验力完毕。

6. 将卸力手柄4推回原位置, 卸除主试验力。此时, 大指针所指刻度, 即为试样的洛氏硬度值, 读数并作好记录。

7. 逆时针转动手轮22, 下降工作台, 卸除初试验力, 取下试样。

按上述试验步骤, 在该试样的不同位置测出3次以上硬度值, 即为该试样最后硬度值, 并记录于表内。

试验时, 应注意两压痕中心的距离及其至试样边缘的距离不应小于3 mm。

维氏硬度试验步骤与布氏硬度试验法相似, 主要不同点是测量压痕对角线的长度, 用其平均值计算或查表, 求得维氏硬度。

洛氏硬度数据记录表

材料名称	处理状态	试 验 规 范			试 验 结 果					
		硬度标尺	压头	总试验力 kgf (N)	第一次	第二次	第三次	硬 度 值		
								HRA	HRB	HRC

【思考题】

1. 布氏硬度试验与洛氏硬度试验主要的异同点是什么?
2. 做布氏硬度试验时, 根据被测金属材料要确定哪几个试验参数? F/D^2 为常数的意义是什么?
3. 硬度试验对试样(被测金属)表面有哪些要求?