

中等职业技术学校教材

金属材料及热处理

第二版

► 罗会昌 欧阳熙 邹茜茜 编



化学工业出版社

教材出版中心

中等职业技术学校教材

金属材料及热处理

第二版

罗会昌 欧阳熙 邹茜茜 编



化学工业出版社
教材出版中心

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料及热处理/罗会昌, 欧阳熙, 邹茜茜编. —北京:
化学工业出版社, 2005.4
中等职业技术学校教材
ISBN 7-5025-6572-8

I. 金… II. ①罗…②欧阳…③邹… III. ①金属材料-
专业学校-教材②热处理-专业学校-教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 023383 号

中等职业技术学校教材

金属材料及热处理

第二版

罗会昌 欧阳熙 邹茜茜 编

责任编辑: 高 钰

文字编辑: 彭喜英

责任校对: 宋 玮

封面设计: 于 兵

*

化学工业出版社 出版发行
教材出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

发行电话: (010) 64982530

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京永鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 9 1/2 字数 218 千字

2005 年 5 月第 2 版 2005 年 5 月北京第 12 次印刷

ISBN 7-5025-6572-8/G·1698

定 价: 15.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

内 容 提 要

本书是在第一版的基础上修订而成的，现将书中的原比较陈旧的国家标准作了修订，相应的名词术语也作了变动。

本书从机械专业学生的实际需要出发，阐述了金属材料及热处理方面的有关内容。全书共十章：金属的力学性能；金属的晶体结构与结晶；金属的塑性变形与再结晶；二元合金；铁碳合金；钢的热处理；合金钢；铸铁；非铁金属及其合金；零件材料的选择原则和热处理工艺应用示例。书末附录简单介绍了布氏、洛氏、维氏硬度换算表以及常用的部分钢种国内外牌号对照表。

本书可作为机械专业教材，亦可供机械维修类专业、非机械类专业和有关工程技术人员参考。

第一版前言

本书是根据1987年11月在四川泸州召开的化工中等专业学校化工机械专业教材编委会讨论的金属材料及热处理教学大纲编写的。

学习本书的基本要求是：(1) 初步掌握常用金属材料的牌号、性能、用途和一般选用原则；(2) 了解常用热处理工艺的基本知识，以及它们在零件加工工艺过程中的应用。

编入本书的有关国家标准和部颁标准资料、数据，都是近期搜集的。本书采用了法定单位制。书中所用单位与非法定单位的换算一般采用近似值，如 $1\text{kgf} \approx 10\text{N}$ ， $1\text{kgf}/\text{mm}^2 \approx 10\text{MPa}$ ， $1\text{kgf} \cdot \text{m} \approx 10\text{J}$ 等。

本书由南京化工学校罗会昌（编写绪论，第三、六、七、八章，附录二）、泸州化工学校欧阳熙（编写第一、二、四、五、九、十章，附录一）两位同志编写，由罗会昌主编。本书承南京工业学校李传祚主审。并承南京机电学校周栋隆、南京河运学校史树莲、南京工业学校王隆平审阅。在编写过程中，还得到常州铁路机械学校唐信众、南京航空学院严岱年、东南大学睢良兵以及兄弟院校和工厂的大力支持和帮助，在此一并表示感谢。

由于我们水平有限，实践经验不足，书中会存在不少缺点甚至错误，敬希读者和教师批评指正。

编 者

1989年12月

第二版前言

本书第一版自1991年出版以来，一直受到读者的热情支持，使用至今。但是，随着近十几年来科学技术的发展以及各种标准不断更新，书中的一些技术名词术语和国家标准已经比较陈旧了。为了能更好地满足中等职业学校的要求，适应企业的需求，并贯彻推行现行国家标准，故对第一版教材进行了修订。

本版在保留了第一版中读者较为熟悉的课程体系的基础上，根据现行国家标准的规定，修行了相关的名词术语和更新了相关的标准。本着理论上以应用为目的，以“必须、够用”为度，在内容上尽量做到布局合理，并采用了现行的国家标准；在文字上精炼、准确、通俗易懂；在内容组织上注意突出实践性和实用性，注重理论和实际相结合。

本书由罗会昌、邹茜茜和欧阳熙共同修订。

由于编者水平有限，实践经验不足，加之编写时间仓促，书中难免有不妥之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2005年2月

主要符号表

A——奥氏体;试样截面面积	G——石墨
$\text{\AA}$ ——长度单位, $1\text{\AA}=10^{-8}\text{cm}$	HBS——布氏硬度(用钢球测定的)
$A_{c_{cm}}$ ——加热时 $\text{Fe}_3\text{C}\rightarrow\text{A}$ 的转变温度	HBW——布氏硬度(用硬质合金球测定的)
A_{cm} —— $\text{Fe}_3\text{C}\rightleftharpoons\text{A}$ 转变的临界温度	HRC——洛氏硬度(C 标度)
A_{c_1} ——加热时 $\text{P}\rightarrow\text{A}$ 的转变温度	HV——维氏硬度
A_{c_3} ——加热时 $\text{F}\rightarrow\text{A}$ 的转变温度	L——液体,液相
A_{KU} ——冲断试样消耗的功(用 U 形缺口试样测定的)	l ——长度
α_{KU} ——冲击韧度(用 U 形缺口试样测定的)	l_0 ——试样标距长度
$A_{r_{cm}}$ ——冷却时 $\text{A}\rightarrow\text{Fe}_3\text{C}$ 的转变温度	Ld——高温莱氏体
A_{r_1} ——冷却时 $\text{A}\rightarrow\text{P}$ 的转变温度	Ld'——低温莱氏体
A_{r_3} ——冷却时 $\text{A}\rightarrow\text{F}$ 的转变温度	M_f ——马氏体转变终了温度
A_0 ——试样原截面面积	M_s ——马氏体转变开始温度
A_1 —— $\text{A}\rightleftharpoons\text{P}$ 转变的临界温度	P——珠光体
A_3 —— $\text{A}\rightleftharpoons\text{F}$ 转变的临界温度	T——绝对温度
C_m ——渗碳体	v ——冷却速度
D, d ——直径	δ ——伸长率
d_0 ——试样原始直径	δ_5 ——短试样($l_0=5d_0$)断后伸长率
F——铁素体	δ_{10} ——长试样($l_0=10d_0$)断后伸长率
F——试验载荷	σ_b ——抗拉强度
F_b ——试样在拉断前的最大载荷	σ_s ——屈服强度
F_e ——弹性极限载荷	$\sigma_{0.2}$ ——条件屈服强度
F_p ——比例极限载荷	σ_{-1} ——疲劳强度
F_s ——试样发生屈服现象时的载荷	τ ——时间
	ψ ——截面收缩率

目 录

绪 论	1
第一章 金属的力学性能	3
第一节 强度和塑性	3
第二节 硬度	6
第三节 韧性	9
第四节 疲劳	10
第五节 金属的蠕变及松弛现象	11
复习思考题	12
第二章 金属的晶体结构与结晶	13
第一节 金属的晶体结构	13
第二节 实际金属的晶体结构	15
第三节 金属的结晶	18
第四节 铸锭的组织	20
第五节 金属的同素异晶转变	21
复习思考题	22
第三章 金属的塑性变形与再结晶	23
第一节 金属的塑性变形	23
第二节 冷变形金属在加热时组织和性能的变化	25
第三节 金属的热加工	27
复习思考题	29
第四章 二元合金	30
第一节 合金的基本知识	30
第二节 二元合金状态图	32
复习思考题	38
第五章 铁碳合金	39
第一节 铁碳合金的基本组织	39
第二节 Fe-Fe ₃ C 状态图	41
第三节 非合金钢	49
复习思考题	53
第六章 钢的热处理	55
第一节 钢在加热时的转变	56

第二节 钢在冷却时的转变	58
第三节 退火与正火	64
第四节 淬火	66
第五节 回火	70
第六节 表面热处理	73
第七节 热处理新技术简介	77
复习思考题	78
第七章 合金钢	80
第一节 概述	80
第二节 合金结构钢	84
第三节 合金工具钢	91
第四节 不锈钢、耐热钢和耐磨钢	96
第五节 粉末冶金简介	102
复习思考题	103
第八章 铸铁	104
第一节 铸铁的分类及铸铁的石墨化	104
第二节 灰铸铁	106
第三节 球墨铸铁	109
第四节 可锻铸铁	112
第五节 合金铸铁简介	114
复习思考题	115
第九章 非铁金属	116
第一节 铝及铝合金	116
第二节 铜及铜合金	120
第三节 钛及钛合金	124
第四节 轴承合金	125
复习思考题	127
第十章 零件材料的选择原则和热处理工艺应用示例	128
第一节 选材的一般原则	128
第二节 热处理的应用	130
第三节 典型零件的选材与热处理	133
复习思考题	137
附录	139
参考文献	142

绪 论

金属材料与热处理是一门重要的技术基础课。它主要阐述金属材料的成分、组织与性能间的关系，常用金属材料的主要性能和用途及钢的热处理基础知识。作为一个化工机械专业的技术人员，在今后的学习和工作中经常要遇到这类问题，这就要求未来的化工机械专业的技术人员要具有选择常用金属材料及了解常用热处理工艺的基本知识。本课程为满足上述要求提供了必要的基础，因此就成为化机专业学生必修的技术基础课。

现代化学工业的发展不但对金属材料质量提出了越来越高的要求，而且对金属材料的品种要求越来越多。而金属材料的发展又促进了现代化学工业向前迈进。如用 0Cr17Mn13Mo2N 钢制造尿素合成塔，促进了尿素的生产，就是一个明显的例子。

热处理是充分发挥材料潜力，节约材料的有效途径。它在化学工业中具有一定的地位和作用。如通过热处理可以增加材料的耐蚀能力，通过热处理（如渗铬）能以价格较低的材料代替不锈钢使用，通过热处理能延长材料的使用寿命等。

金属材料与热处理不仅在化学工业，在其他工业中都有着重要的地位和作用。

中国在正确应用金属材料及热处理工艺方面的历史很悠久，积累了丰富的经验。中国远在四千多年前就开始使用铜，1939 年在河南安阳武官村出土的司母戊大方鼎，质量为 875kg，是迄今世界上最古老的大型青铜器。这只鼎相传是商王文丁为祭祀他的母亲所铸的祭器。

早在公元前 513 年，晋国就已铸成了有刑书的大铁鼎，称为铸刑鼎。这是关于中国铸铁技术现在所知的最早记载。与铸刑鼎仅差数十年，出现了可锻铸铁铲，这是迄今发现的世界上最早的可锻铸铁件。而在欧洲，直至公元 13 世纪末至 14 世纪初才出现生铁，这比中国要晚 1900 多年。

中国在热处理方面有着丰富的经验。早在春秋战国时代，就用热处理方法处理兵器，如在战国时，有“以冶铁致富而富甲全国者”，那时制出的干将与莫邪两支名剑，“用以切玉，如切泥焉”。说明当时已掌握了炼钢、锻造和热处理等技术。在 2000 年前的汉代文献中论述了淬火的方法，在 300 年前的明代，类似今天的淬火、退火、渗碳等方法已熟练使用。

明朝宋应星所著《天工开物》一书，内载冶铁、铸钟、淬火等各种方法，它是世界上有关金属工艺最早的著作之一。

综上所述，中国古代在金属材料与热处理方面的技术都超过了同时期其他国家。只是由于长期的封建统治，特别是近百年来外国的侵略和国内统治阶级的愚昧反动，造成了中国科学技术上落后的局面。

解放以后，中国人民在党中央的领导下，科学技术得到迅速的发展。在短短的 50 多年间，中国钢产量从刚解放时的 15.8 万吨/年，到 2004 年的 2.7 亿吨/年。解放前依赖从

外国进口钢材，现在已建立了符合中国资源的合金钢系统，用自己生产的金属材料制造各种机器和设备。另外，还研制出具有世界先进水平的稀土镁球墨铸铁等。

在热处理技术方面，解放以来也是迅猛发展的。具有世界先进水平的新工艺如形变热处理、可控气氛热处理、多元共渗、辉光离子氮化、真空热处理等，已被不少的工厂所采用。机械化程度很高的热处理作业炉和热处理流水线已在不少工厂建立起来。目前有的工厂对某些化学热处理已实现微机自动控制。中国热处理方面的某些技术已达到世界先进水平，如对安装于现场的高 33m 的立式容器成功地采用了整体退火法等。

在解放以后短短的 50 多年中，中国取得的成就是巨大的。但与世界上先进的国家相比，在生产水平、管理水平和科学技术等方面还存在着一定的差距，这就激发人们要努力学习和努力工作，为全面建设小康社会而贡献出全部智慧和力量。

本课程是通过课堂教学、实验和教学实习等共同完成的。

本课程的实践性和应用性均较强，要学好本课程，除常规的一些学习方法外，要认真地进行金工教学实习，以获得感性知识和一定的基本操作技能，从而加深对课程内容的理解。在学习中要注意与其他课程的联系。要加强实验环节，充分利用图书、杂志等资料，以扩大知识面和动手能力。这样，才能达到本课程预期的目的和要求。

第一章 金属的力学性能

金属材料之所以是现代工业和科学技术等方面不可缺少的重要材料，其原因是由于它具有优良的使用性能（反映金属材料在使用过程中所表现出来的特性，如力学性能、物理性能及化学性能等）和工艺性能（反映金属材料在加工制造过程中所表现出来的特性，如铸造性能、塑性成型性能、焊接性能和切削加工性能等），易于制成性能、形状都能符合要求的机械零件、工具和其他制品。为了能够正确地选用金属材料，合理地确定金属的加工方法，必须先熟悉金属材料的性能。

金属的力学性能是指金属材料在外力作用下所表现出来的特性。任何一部机器都是由零部件所组成的，而零部件在使用时都承受外力作用。因此，金属材料的力学性能就显得十分重要了。除了一些在特殊条件（如辐射、腐蚀介质等）下工作的机械设备以外，一般机械零部件在设计和选用材料时，都以力学性能的指标作为主要依据。

力学性能主要包括有：强度、塑性、硬度、韧性、疲劳等。

第一节 强度和塑性

一、强度

金属在外力（称为载荷或负荷）作用下抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。由于承受载荷形式的不同，金属的强度可分为抗拉强度、压缩强度、弯曲强度等。其表示指标也不一样。但通常以屈服强度和抗拉强度指标来表示强度值的大小。而测定这个指标最普遍、最简单的方法是拉伸试验法。

拉伸试验就是把制成规定形状和尺寸的试样（详见 GB/T 228—2002）装在拉伸试验机上，对试样（图 1-1，以低碳钢为例）缓慢施加拉力（即静载荷），使之不断产生变形，直到拉断试样为止。再根据拉伸试验过程中的载荷大小和对应的变形量关系，便可画出金属材料的拉伸曲线。图 1-2 为低碳钢的拉伸曲线。

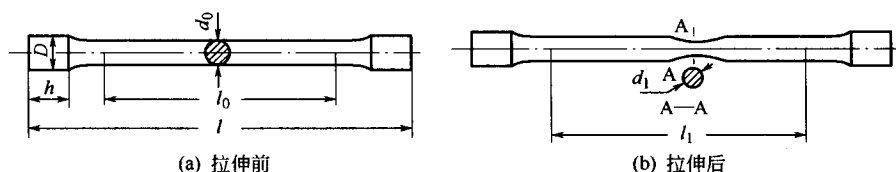


图 1-1 拉伸试样

由图 1-2 可见, 当载荷 F 为零时, 变形量 Δl 也为零。当载荷由零增加到 F_p 时, 伸长量与所加载荷成正比例增加, 保持直线关系, 此时若除去载荷, 试样恢复原状, 没有残余变形, 即材料处于弹性变形阶段。载荷超过 F_p 后, 拉伸曲线开始偏离直线, 保持直线关系的最大载荷, 是比例极限的载荷 F_p 。继续增加载荷超过 F_p 时, 试样除产生弹性变形外, 开始出现塑性变形, 在载荷去除后, 试样不能完全恢复到原来形状, 即产生了残余变形。当载荷增加到 F_s 时, 图上出现水平线段, 即表示载荷不增加, 变形继续增加, 这种现象称为屈服。 s 点叫做屈服点。出现屈服现象以后, 当载荷再增加时, 变形也逐渐增大, 载荷增加到 F_b 时变形显著地集中在材料最薄弱的部分, 试样出现局部直径变细, 通常称为“颈缩”现象。由于试样截面缩小, 载荷也就逐渐降低, 当到达 k 点时, 试样就在颈缩处被拉断。

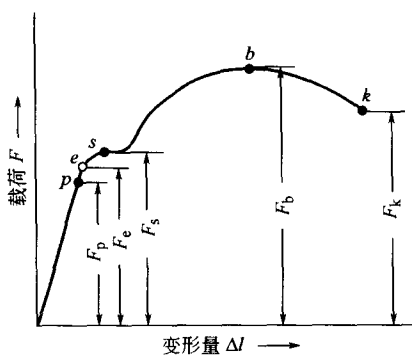


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

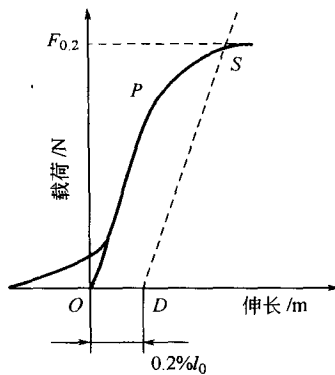


图 1-3 图解法确定 $\sigma_{0.2}$

金属材料受外力作用时会发生变形, 同时在其内部产生一个抵抗变形的力 (称为内力), 此力的大小和外力相等, 方向相反。金属材料单位面积上的内力称为应力。用应力的大小来衡量强度的大小, 以符号 σ 表示。

1. 屈服强度

由图 1-2 可知, 当载荷增加到 F_s 时, 如不再继续增加载荷, 则试样仍能继续伸长, 这叫做屈服现象。金属材料产生屈服现象时的应力称为屈服强度, 或称屈服极限, 以符号 σ_s 表示。 σ_s 可由下式计算:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中 F_s ——试样发生屈服现象时的载荷, N;

A_0 ——试样的原始截面面积, m^2 。

屈服强度表示金属材料开始出现微量塑性变形的应力。它是设计零件与压力容器时选用金属材料的重要依据。例如, 为了保证气缸盖和气缸体之间的密封性, 缸盖螺栓是不允许发生塑性变形的。所以, 设计缸盖螺栓时就以屈服强度作为计算依据。

由于许多金属材料 (如高碳钢、铸铁等) 没有明显的屈服现象, 如要测定其屈服强度是很困难的。在这种情况下, 工程技术上规定: 将试样的残余变形量相当于试样原标距长的 0.2% 时的应力, 称做条件屈服强度, 并以符号 $\sigma_{0.2}$ 来表示。 $\sigma_{0.2}$ 的值可以从拉伸图上直接求出。

如图 1-3 所示, 在横坐标上于 $0.2\%l_0$ 处取一点 D , 引一虚线与 OP 线段平行, 并与拉伸曲线相交, 交点 S 所对应的纵坐标值即为试样产生 0.2% 残余变形时的载荷, 然后由它算出 $\sigma_{0.2}$:

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中 $F_{0.2}$ ——产生 0.2% 残余变形时的载荷, N;

A_0 ——试样原始截面面积, m^2 。

表 1-1 列出了几种化工容器用钢的屈服强度值。

表 1-1 几种化工容器用钢的屈服强度值

材 料	屈服强度/MPa				
	20℃	100℃	200℃	300℃	400℃
Q235	240	220	200	170	145
20g	250	230	210	180	155
Q345	320	290	250	210	190

注: 表中数据摘自《设计规定》第二章材料部分。 $1\text{MPa}=10^6\text{Pa}$ 。

2. 抗拉强度

金属材料在受拉力过程中, 在发生断裂以前所能承受的最大应力值, 称为抗拉强度或强度极限, 以符号 σ_b 表示。 σ_b 可由下式计算:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (\text{Pa})$$

式中 F_b ——试样在断裂前的最大拉力, N;

A_0 ——试样原始截面面积, m^2 。

抗拉强度是设计和选材的重要依据之一。

工程上所用的金属材料, 不仅希望具有较高的 σ_s , 还希望具有一定的屈强比 (σ_s 与 σ_b 的比值)。屈强比反映了金属材料承受外载能力的裕度。屈强比较高, 意味着屈服强度接近于抗拉强度, 金属材料强度的有效利用率高, 但可靠性较低。屈强比较低, 结构零件的可靠性较高。但如果屈强比太小, 则金属材料强度的有效利用率就太低了。常用金属材料的屈强比是: 碳素钢一般为 0.6 左右, 低合金钢一般为 0.65~0.75, 合金结构钢一般为 0.85。

二、塑性

金属材料在外力作用下产生永久变形而不致破坏的能力叫塑性。常用的塑性指标是断后伸长率和断面收缩率。它也是通过对试样进行拉伸试验来测定的。

1. 断后伸长率

试样在拉伸断裂后其总伸长量与原来标距长度比值的百分率, 称为断后伸长率, 以符号 δ 表示。 δ 可按下式计算:

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

式中 l_0 ——试样原标距长度, m;

l_1 ——试样拉断后的标距长度, m。

2. 断面收缩率

试样受拉伸断裂后, 其横截面面积的缩减量与原横截面面积比值的百分率, 称为断面收缩率, 用符号 ψ 表示。 ψ 可按式计算:

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

式中 A_0 ——试样原始横截面面积, m^2 ;

A_1 ——试样断口处的横截面面积, m^2 。

在塑性指标中, 断后伸长率的大小与试样尺寸有关。为了便于比较, 试样的尺寸必须标准化。常用的试样计算长度规定为其直径的 5 倍或 10 倍, 分别以 δ_5 和 δ_{10} 表示。对于同一材料而言, 短试样所测得的断后伸长率 (δ_5) 要比长试样测得的断后伸长率 (δ_{10} 或 δ) 大一些, 两值不能进行比较。断面收缩率 ψ 与试样尺寸无关, 它能更可靠、更灵敏地反映材料塑性的变化。

断后伸长率与断面收缩率也是材料的重要性能指标。它们的数值越大, 材料的塑性越好。金属材料塑性的好坏, 对零件的加工和使用都具有十分重要的意义。例如, 低碳钢的塑性较好, 故可进行压力加工; 普通铸铁的塑性很差, 因而不能进行压力加工, 但能铸造。同时, 由于金属材料具有一定的塑性, 故能保证其不致因稍有超载而突然破断, 这就增加了金属材料使用的安全可靠。因此, 对于机械零件的塑性指标是有一定要求的。

第二节 硬 度

硬度是指金属抵抗比它更硬物体压入时所引起的塑性变形能力。硬度值的物理意义随着试验方法的不同而不同。生产上常用的有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

一、布氏硬度

布氏硬度的测定原理是用一定直径 D 的淬火钢球 (或硬质合金球), 以相应的载荷 F 压入被测金属的表面 (图 1-4) 保持一定时间后卸除载荷, 测量试样表面的压痕直径, 用载荷与压痕球形表面积的比值作为布氏硬度值。

当载荷的单位用 (kgf)^① 时, 则

$$\text{布氏硬度值} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中 D ——球体直径, mm;

F ——载荷, kgf;

d ——压痕平均直径, mm。

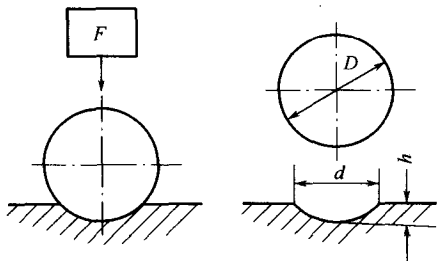


图 1-4 布氏硬度试验原理示意图

当载荷的单位用 N 时, 则

$$\text{布氏硬度值} = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

① 此为工程单位, 使用时换算成法定单位。

试验时只需测量出压痕平均直径 d ，经计算或查金属材料布氏硬度数值表即可求得布氏硬度值。在实际应用中，布氏硬度值是不标注单位的，也不需要经过计算。

布氏硬度用 HB 表示。当压头为钢球时表示为 HBS，适用于布氏硬度值在 450 以下的材料；当压头为硬质合金球时表示为 HBW，适用于布氏硬度值为 450~650 的材料。而 HBS 或 HBW 之后的下标表示试验条件。例如，150HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 钢球在 9.807kN (1000kgf) 的载荷作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 150；500HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 7.355kN (750kgf) 的载荷作用下保持 10~15s (不标注) 测得的布氏硬度值为 500。

由于布氏硬度试验压痕面积较大，能反映出较大范围内金属各组成相综合影响的平均性能，而不受个别组成相及微小不均匀度的影响，故试验数据稳定、准确，广泛用于测定 $HB < 450$ 的金属材料，特别适用于测定组织不均匀的低硬度金属。通常用于测定铸铁、非铁金属、低合金结构钢等原材料以及结构钢调质件的硬度。但因布氏硬度试验的压痕较大，不能检验薄片材料 and 不宜检验成品件。

在实际生产中检验金属大锻件和大铸件的硬度时，为了免除切取试样的困难和浪费钢材，可采用轻便的锤击式简易布氏硬度计。这种试验方法较为简便，但是，需要有一组不同硬度值的标准试样，而且试验误差较大，所测硬度值一般不作为成品验收依据，仅作参考。

二、洛氏硬度

洛氏硬度试验是目前应用最广的试验方法，和布氏硬度一样，属于压入法硬度试验，但它不是测定压痕的面积，而是测量压痕的深度，以深度的大小来表示材料的硬度值。

洛氏硬度的测定原理是用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头或直径为 1.588mm 的淬火钢球压头，在先加初载荷 F_0 和后加总载荷 ($F_0 +$ 主载荷 F_1) 的作用下压入金属表面来确定其硬度值的 (图 1-5，详见 GB 230—1991)。

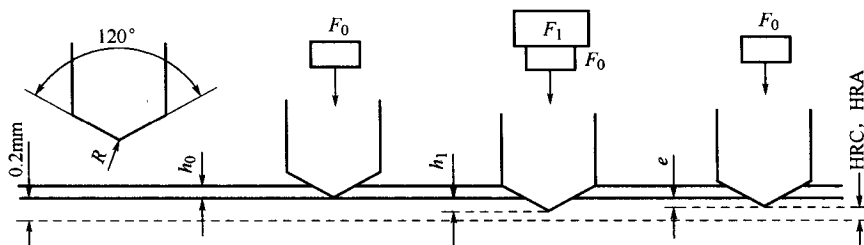


图 1-5 洛氏硬度试验示意图

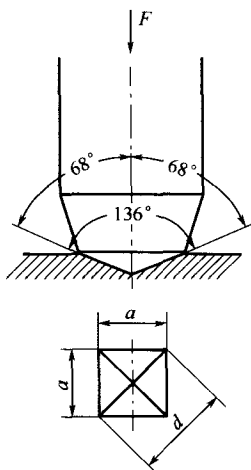
被测金属的洛氏硬度值是在卸除主载荷后，在初载荷作用下，从洛氏硬度计的刻度盘上直接读出 (无单位) 的。若压痕愈深，则刻度盘的硬度示值愈小，即材料愈软。反之，压痕愈浅，刻度盘的硬度示值愈大，即材料愈硬。

洛氏硬度用 HR 表示。为了便于用洛氏硬度计测定从软到硬较大范围的材料硬度，可采用不同的压头和载荷，组成各种不同的洛氏硬度标度，每种标度用一字母在 HR 字样后加以注明，以作区别。如 HRA、HRB、HRC 等，其中 HRA 与 HRC 是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体作为压头，采用总载荷分别是 588N 与 1470N，而 HRB 值的测定则采用直径为 1.588mm 的钢球作为压头，总载荷为 980N。

洛氏硬度试验方法的优点是操作迅速、简便，压痕小，不损伤工件表面，硬度值的测量范围也较大，故应用范围很广，可用于测定钢铁、非铁金属、硬质合金等材料的硬度。其缺点是由于洛氏硬度试验的压痕小，易受试样微小区域不均匀组织的影响，故准确性不如布氏硬度高，所测硬度值的重复性差。故一般需在试样不同部位测定几点，取其平均值。

三、维氏硬度

维氏硬度的测定原理基本上和布氏硬度相同，也是根据压痕单位面积上的载荷来计量硬度值的。试验时，将一个相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头以选定的载荷压入试样表面，经规定保持时间后，卸除载荷，测量压痕两对角线长度（图 1-6），借以计算压痕的表面积。用载荷除以压痕表面积，所得的商即为维氏硬度值。



当载荷的单位用 (kgf) 时，则

$$\text{维氏硬度值} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中 F ——载荷，kgf；

d ——压痕两对角线的算术平均值，mm。

当载荷的单位用 N 时，则

$$\text{维氏硬度值} = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

图 1-6 维氏硬度试验

压头及压痕示意图

试验时测量出压痕两对角线的算术平均值，经计算或查金属维氏硬度数值表即可求得维氏硬度值。

维氏硬度用符号 HV 表示，HV 前面为硬度值，HV 后面按载荷和载荷保持时间（10~15s 不标注）的顺序用数字表示试验条件。例如，640HV30 表示用 294.2N (30kgf) 载荷，保持 10~15s 测定的维氏硬度值为 640。

与布氏、洛氏硬度试验相比较，维氏硬度试验具有许多优点，它不存在布氏硬度试验那种载荷与压头直径比例关系的约束，也不存在压头变形问题；由于压痕轮廓清晰，采用对角线长度计量，精确可靠，所以硬度值的误差较小；维氏硬度比洛氏硬度能更好地测定极薄试件的硬度。故可用于测定软、硬金属，常用于极薄零件和渗碳层、渗氮层的硬度测定。其缺点是操作麻烦，对试样表面质量要求高，对组织不均匀的金属材料不宜采用。

硬度是金属材料的重要力学性能之一。由于测定硬度的试验设备比较简单，操作方便、迅速，又属无损检验，所以，无论在生产上和科研中应用十分广泛。

表 1-2 列出几种金属材料的硬度值。

表 1-2 几种金属材料的硬度值

材 料	硬度值/HB	材 料	硬度值/HB
铅	3.8~4.2	工业纯铁	80
铝	20	中碳结构钢	180~250
铜	35~120	高速钢	HRC≥63~67
钛	100		

注：表中数据主要来源于《金属材料手册》。