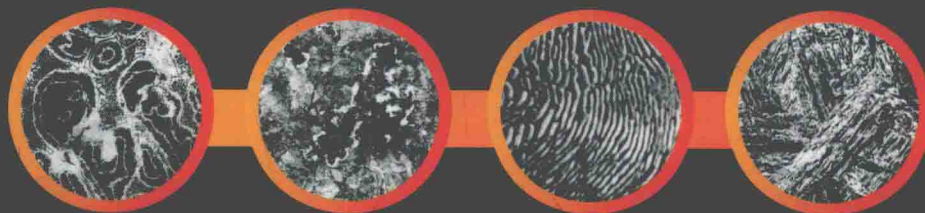


高等学校“十三五”规划教材

工程材料及热处理

叶 宏 主编

沟引宁 昌 霞 副主编



化学工业出版社

高等学校“十三五”规划教材

工程材料及热处理

叶 宏 主编

沟引宁 昌 霞 副主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书面向高等工科院校工程应用型人才培养需求编写,以金属材料为重点,着重介绍了金属材料及热处理的基础知识,同时介绍了常用的非金属材料 and 新型材料以及工程材料的应用。本书内容包括:材料的性能,金属材料的基础知识,钢的热处理,工业用钢及铸铁,有色金属材料,非金属材料,新型材料以及工程材料的选用等。各章后面附有习题与思考题。

本书可作为高等院校机械类或与机械类相关专业的教学用书及对应专业成人高等教育的教学用书,也可作为一般从事机械、车辆、化工、动力、电力等装置设计、制造及质量控制方面的工程技术人员的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及热处理/叶宏主编. —北京:化学工业出版社, 2017.1

高等学校“十三五”规划教材

ISBN 978-7-122-28657-4

I. ①工… II. ①叶… III. ①工程材料-高等学校-教材②热处理-高等学校-教材 IV. ①TB3②TG15

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第304514号

责任编辑:陶艳玲

加工编辑:颜克俭

责任校对:边涛

装帧设计:关飞

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:高教社(天津)印务有限公司

787mm×1092mm 1/16 印张11 $\frac{3}{4}$ 字数272千字 2017年3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: 29.00 元

版权所有 违者必究

前 言

本书是面向高等工科院校机械设计制造及其自动化、机械电子工程、车辆工程、过程装备与控制工程等专业“（机械）工程材料”课程的一本专用教材，也可供有关技术人员学习和参考。

本书根据《高等教育基础课程教学基本要求》，围绕培养机械类和近机类应用创新型人才和卓越工程师的需求，对课程内容进行优化整合，建立以培养工程实践能力和创新能力为核心，以金属材料为重点，兼顾非金属及新型材料的全新教学内容体系。编写过程认真总结和吸取了各高等院校近年来工程材料及热处理相关课程改革的成功经验，并汲取其他同类教材的优点。突出以下几个特点。

(1) 重点突出 以金属材料为重点，兼顾非金属材料，适当增加新材料、新技术及新工艺的内容，反映工程材料的发展趋势。

(2) 实践性强 针对机械工程发展实际和需要，强调理论联系实际。阐述基础知识的同时，在材料的热处理和选用方面紧密联系实际进行介绍。

(3) 内容精炼 结合工程应用型人才的特点，力求做到理论深入浅出，通俗易懂、文字简练、条理清楚、图文并茂。

(4) 规范性强 本书全部采用法定计量单位，名词术语、材料牌号均采用最新国家标准，同时考虑到读者对材料牌号尚不熟悉，保留部分材料的旧牌号用括号表明。

本书由叶宏担任主编并统稿，由沟引宁、昌霞任副主编，张小彬、闫忠琳、张春艳、韦志峰参编。

本书在编写过程中参考了有关教材和相关文献，并得到了有关单位和领导的支持和帮助，在此表示衷心的感谢。

由于编者水平有限，对于书中存在的不当之处，恳请同行批评指正。

编者

2016年10月

目 录

绪 论 1

0.1 工程材料与热处理的发展概要	1
0.2 工程材料的分类	2
0.3 课程的任务、目的与要求	3

第 1 章 材料的性能 4

1.1 材料的力学性能	4
1.1.1 强度	4
1.1.2 塑性	6
1.1.3 硬度	7
1.1.4 韧性	8
1.1.5 疲劳强度	10
1.2 材料的物理和化学性能	10
1.2.1 材料的物理性能	10
1.2.2 材料的化学性能	11
1.3 材料的工艺性能	12
习题与思考题	13

第 2 章 金属材料的基础知识 14

2.1 金属与合金的晶体结构	14
2.1.1 金属的理想晶体结构	14
2.1.2 金属的实际晶体结构	15
2.1.3 合金的晶体结构	17
2.2 纯金属的结晶	18

2.2.1	纯金属的冷却曲线与过冷现象	18
2.2.2	纯金属的结晶过程	19
2.2.3	晶粒大小对金属力学性能的影响	20
2.2.4	同素异构转变	21
2.3	合金的结晶	22
2.3.1	二元合金相图的建立	22
2.3.2	二元合金相图的基本类型	23
2.3.3	合金相图与性能的关系	25
2.4	铁碳合金相图	27
2.4.1	铁碳合金的基本组织与性能	27
2.4.2	铁碳合金相图	29
2.5	金属的塑性变形与再结晶	35
2.5.1	金属塑性变形简介	36
2.5.2	冷塑性变形对金属组织和性能的影响	37
2.5.3	金属的回复与再结晶	39
2.5.4	金属的热加工	40
	习题与思考题	41

第3章 钢的热处理

42

3.1	钢在加热时的转变	43
3.1.1	钢组织转变的临界温度	43
3.1.2	奥氏体化的形成	43
3.1.3	奥氏体晶粒长大及其控制	44
3.2	钢在冷却时的转变	45
3.2.1	过冷奥氏体的等温转变	46
3.2.2	过冷奥氏体的连续冷却转变	51
3.3	钢的普通热处理	54
3.3.1	钢的退火与正火	54
3.3.2	钢的淬火	56
3.3.3	钢的回火	61
3.4	钢的表面热处理	62
3.4.1	钢的表面淬火	62
3.4.2	钢的化学热处理	65
3.5	热处理的工程应用	69
3.5.1	热处理工序位置安排	69
3.5.2	典型零件热处理工艺应用	70
	习题与思考题	72

4.1 碳钢	74
4.1.1 碳钢的成分和分类	74
4.1.2 碳钢的牌号及用途	75
4.2 合金钢	78
4.2.1 概述	78
4.2.2 合金结构钢	82
4.2.3 合金工具钢	92
4.2.4 特殊性能钢	101
4.3 铸铁	108
4.3.1 铸铁的分类	109
4.3.2 铸铁的石墨化	109
4.3.3 常用铸铁	110
习题与思考题	116

5.1 铝及铝合金	118
5.1.1 纯铝	119
5.1.2 铝合金	119
5.2 铜及铜合金	123
5.2.1 纯铜	124
5.2.2 铜合金	124
5.3 钛及钛合金	127
5.3.1 纯钛	127
5.3.2 钛合金	128
5.4 镁及镁合金	130
5.4.1 纯镁	130
5.4.2 镁合金	130
5.5 滑动轴承合金	132
5.5.1 性能要求与组织特征	132
5.5.2 常用轴承合金	132
5.6 硬质合金	134
5.6.1 硬质合金的性能特点	134
5.6.2 常用硬质合金	134
习题与思考题	135

6.1	高分子材料	136
6.1.1	工程塑料	136
6.1.2	橡胶	139
6.1.3	涂料	140
6.2	陶瓷材料	141
6.2.1	陶瓷的分类	141
6.2.2	陶瓷的结构性能特点	142
6.2.3	常用工程陶瓷	143
6.3	常用复合材料	146
6.3.1	复合材料的性能特点	146
6.3.2	复合材料的分类	147
6.3.3	常用复合材料	147
	习题与思考题	150

7.1	纳米材料	151
7.1.1	纳米材料的性质	151
7.1.2	纳米材料的分类	152
7.1.3	纳米材料的应用	153
7.2	非晶态合金	154
7.2.1	非晶态合金的结构特点	154
7.2.2	非晶态合金的性能及应用	154
7.3	形状记忆合金	156
7.3.1	形状记忆效应原理	156
7.3.2	形状记忆合金的应用	157
7.4	超导材料	158
7.4.1	超导材料的性能特点	158
7.4.2	超导材料的应用	159
7.5	储氢材料	160
7.5.1	储氢技术原理	160
7.5.2	储氢合金的应用	160
7.6	其他新型材料	161
7.6.1	超塑性合金	161
7.6.2	高温材料	162
7.6.3	电接触材料	163

7.6.4	永磁材料	163
7.6.5	吸波材料	163
7.6.6	测温材料	164
7.6.7	仿生材料	164
习题与思考题		165

第 8 章 工程材料的选用 166

8.1	机械零件的失效与分析	166
8.1.1	机械零件的失效形式	166
8.1.2	机械零件失效的原因和分析方法	168
8.2	选材的基本原则和方法	169
8.2.1	材料选择的一般原则	169
8.2.2	材料选择的方法和步骤	170
8.3	典型零件及工具的选材	170
8.3.1	轴类零件	170
8.3.2	齿轮类零件	172
8.3.3	弹簧	173
8.3.4	箱体	173
8.3.5	刃具	174
8.3.6	模具	176
习题与思考题		178

参考文献 179

绪论

《 0.1 工程材料与热处理的发展概要 》

工程材料是人类生产和社会发展的重要物质基础，也是日常生活中不可分割的一个组成部分。人类历史的发展从原始时期的石器时代开始，经历了青铜器时代和铁器时代，将人类带入了农业社会。18世纪钢铁时代的来临，带来了工业社会的文明。尤其是近百年来，随着科学技术的迅猛发展和社会的需求，新材料更是层出不穷，出现了高分子材料时代、半导体材料时代、先进陶瓷材料时代、复合材料时代、人工合成材料时代和纳米材料时代。历史证明，每一次重大新技术的发现，往往都依赖于新材料的发展。

在原始社会的末期，中华民族的祖先最早使用了火烧制陶器。东汉时期出现了瓷器。据考古发现，4000多年前，金属材料就开始出现在人类的生活中，当时我国的青铜冶炼与铸造技术就已经具有较高的技术水平。在春秋战国时期，我国就发明了炼铁技术，比欧洲早了1800多年，当时就开始大量地使用铁器，随后白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁也相继被开始使用。1953年从兴隆地区发掘出来的战国铁器遗址中，就有浇注农具用的铁模子，说明当时已经掌握了铁模铸造技术。到了汉代，我国的“先炼铁后炼钢”技术已居世界领先地位。开始使用炼钢技术大量制造钢铁产品。在热处理技术方面，早在西汉就有“水与火合为粹（淬）”之说，东汉时则有“清水淬其锋”等有关热处理技术的记载。在西汉出土的文物如刚剑、书刀等，经金相检验发现，其内部组织接近于淬火马氏体和渗碳体组织，这说明在我国的西汉时期，已经采用了各种热处理方法，并已经具有相当高的技术水平。

20世纪以来，随着现代科学技术的迅猛发展，对材料的技术要求越来越高。在大量发展高性能金属材料的同时，又迅速发展和应用高性能的非金属材料和复合材料。近年

来,我国在材料工业领域取得了巨大的成就。我国的钢产量已经跃居世界的前列,在金属材料生产方面已建立了符合我国特点的合金钢系列,且应用范围正在日益扩大。我国广泛采用稀土元素材料,并研制出具有世界先进水平的稀土镁球墨铸铁。许多热处理新工艺、新技术得到了应用和推广。高分子材料、陶瓷材料、复合材料等非金属材料在生产中也逐步得到了应用。

能源、信息和材料已被公认为当今社会发展的三大支柱。科学技术的发展对材料不断提出新的要求。新材料特别是人工合成材料得到快速发展,功能材料、纳米材料等高科技材料正被加速研究,逐渐成熟并获得应用。

《《 0.2 工程材料的分类 》》

材料的种类很多,其中用于机械制造的各种材料,称为机械工程材料。材料可按不同的方法分类。

若按用途分类,可将材料分为结构材料和功能材料两大类。结构材料主要是利用材料的力学和理化性质,广泛应用于机械制造、工程建设、交通运输和能源等各个工业部门。功能材料则利用材料的热、光、电、磁等性能,用于电子、激光、通信、能源和生物工程等许多高新技术领域。功能材料的最新发展是智能材料,它具有环境判断功能、自我修复功能和时间轴功能,人们称智能材料是21世纪的材料。

若按材料的成分和特性分类,可分为金属材料、无机非金属材料、高分子材料和复合材料。

金属材料又分为黑色金属材料和有色金属材料。黑色金属材料通常包括铁、锰、铬以及它们的合金,是应用最广的金属结构材料。除黑色金属以外的其他各种金属及其合金都称为有色金属。有色金属品种繁多,又可分为轻金属、重金属、高熔点金属、稀土金属、稀散金属和贵金属等。纯金属的强度较低,工业上用的金属材料大多是由两种或两种以上金属经高温熔融后冷却得到的合金。例如由铜和锡组成的青铜,铝、铜和镁组成的硬铝等都是合金。合金也可以由金属元素和非金属元素组成,如碳钢是由铁和碳组成的合金。合金的性能一般都优于纯金属。为了发展航空、火箭、宇航、舰艇、能源等新兴工业,需要研制具有特殊性能的金属结构材料,因此金属材料发展的重点是研制新型金属材料。

陶瓷材料是无机非金属材料中人类应用最早的材料。传统的陶瓷材料是以硅和铝的氧化物为主的硅酸盐材料,新近发展起来的特种陶瓷或称精细陶瓷,成分扩展到纯的氧化物、碳化物、氮化物和硅化物等,因此可称为无机非金属材料。

高分子材料主要有塑料、合成纤维和合成橡胶,此外还有涂料和胶黏剂等。这类材料有优异的性能,如较高的强度、优良的塑性、耐腐蚀、不导电等,发展速度较快,已部分地取代了金属材料。合成具有特殊性能的功能高分子材料是高分子材料的发展方向。

复合材料是由金属材料、无机非金属材料或高分子材料复合组成的。复合材料的强度、刚度和耐腐蚀等性能比单一材料更为优越,是一类具有广阔发展前景的新型材料。

《 0.3 课程的任务、目的与要求 》

本课程是高等院校工程技术类专业的一门必修的技术基础课，有较强的理论性和应用性。

本课程以工程材料为研究对象，以金属材料为主，探讨材料的成分、组织结构、性能及应用之间的关系，介绍常用工程材料的性能及应用。培养学生具有根据各种不同零件的使用要求，合理地选用材料的初步能力。

贯穿本课程的主线是：材料的化学成分+加工工艺—组织结构—性能—选择材料—使用材料。

本课程基本要求如下。

① 基本理论方面 了解金属及合金的组织结构对金属材料性能的影响；了解强化金属材料的基本途径；具有分析和应用 Fe-Fe₃C 相图和奥氏体等温转变图（C 曲线）的初步能力，熟悉金属热处理的基本概念。

② 热处理工艺方面 掌握热处理在机械零件加工工艺流程中的位置和作用。

③ 金属材料方面 熟悉常用金属材料的牌号、成分、组织、性能及用途。

④ 非金属材料方面 熟悉常用工程塑料的种类、性能及应用；了解橡胶、陶瓷、复合材料等的特点及应用。

⑤ 选材方面 掌握机械零件的失效类型和选材的基本原理与方法。

第 1 章

材料的性能 >>>

金属材料种类繁多，具有许多优良的性能，广泛应用于制造各种机械、构件、生产工具和生活用具。金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两个方面：使用性能是指材料在使用条件下的性能，包括力学性能、物理性能和化学性能等；工艺性能是指材料在制造过程中适应加工工艺的能力，包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。

<< 1.1 材料的力学性能 >>

材料在加工和使用过程中，总要受外力（或称载荷）。材料受外力作用时所表现的性能称为力学性能，包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。合理的力学性能指标，可为零件的正确设计、合理选用、工艺路线制订提供依据。

1.1.1 强度

材料在外力作用下所产生的形状、尺寸变化称为变形。当所受外力撤掉后，那些能够恢复的变形称为弹性变形；不能恢复的变形称为塑性变形。材料在外力作用下抵抗变形和断裂的能力称为强度。根据外力作用的方式，强度有多种指标，如抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗扭强度等。其中又以屈服强度和抗拉强度应用最多。

金属材料强度靠拉伸试验测定。试样通常为光滑圆柱状，其两端由拉伸试验机夹紧，并缓慢而均匀地施加单轴拉力，如图 1-1 所示。随拉力的增大，试样开始拉长变形，直至断裂。自动记录装置记录试样应变 e （试样原始标距的伸长与原始标距 L_0 之比的百分率）随应力 R （任一时刻的力除以试样原始横截面积 S_0 的商）变化的应力-应变曲线，图 1-2

为典型低碳钢的应力-应变曲线（不同材料呈现出不同的应力-应变曲线）。

$$R = F/S_0 \text{ (MPa)}$$

$$e = \Delta l/l_0 = (l_1 - l_0)/l_0 \text{ (\%)}$$

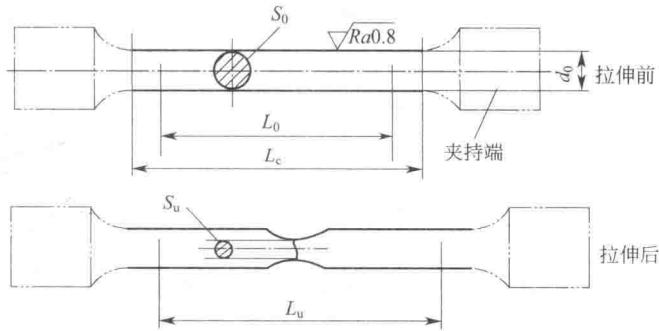


图 1-1 拉伸试样

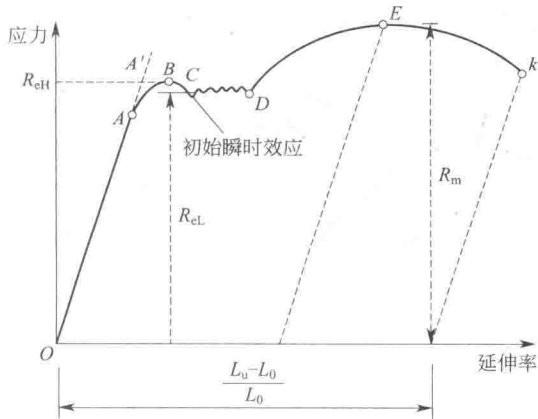


图 1-2 低碳钢应力-应变曲线

低碳钢应力-应变曲线明显地出现了下面几个变形阶段。

OA 段为弹性阶段：此时卸掉载荷试样可以恢复原来尺寸。

BC 段为屈服阶段：当应力超过 A 点时，试样除了弹性变形外，还产生塑性变形。即载荷卸掉后，一部分形变可以恢复；一部分形变不能恢复。在此阶段，应力几乎不增加，但应变继续增加。

CD 段为大量变形阶段：因材料加工硬化，欲使试样继续变形必须加大载荷。随着塑性变形增加，材料变形抗力也逐渐增加。

DE 段为颈缩阶段：当载荷达到最大值后，试样的直径发生局部收缩（颈缩）。应力明显下降，试样继续伸长，直至 E 点断裂。

(1) 屈服强度

在图 1-2 中，应力超过 B 点后，在 BC 段材料发生塑性变形，长度伸长而应力却不增

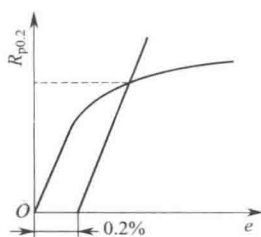


图 1-3 条件屈服强度

加，称为屈服。此时的应力称为屈服强度 R_e 。试样因发生屈服而首次下降前的最大应力称为上屈服强度 R_{eH} ；试样在屈服期间，不计瞬时效应时的最小应力称为下屈服强度 R_{eL} 。

屈服强度表示材料抵抗微量塑性变形的能力，反映了其抵抗永久变形的能力，是最重要的零部件材料设计指标之一。在大多数情况下，材料不允许产生塑性变形（图 1-3）。

实际情况中，有些材料没有明显屈服现象，因此工程上规定拉伸时产生 0.2% 残余变形所对应的应力为条件屈服强度 $R_{p0.2}$ 。

(2) 抗拉强度

在应力-应变曲线上，D 点应力与材料断裂前所承受的最大力 F_m 相对应，称为抗拉强度 R_m 。抗拉强度反映材料抵抗断裂破坏的能力，也是零件设计和材料评价的重要指标。

(3) 弹性与刚度

A 点位置应力称为弹性极限；其中 OA' 部分为斜直线，表示其应力与应变呈正比， A' 点位置应力称为比例极限。低于比例极限的应力与应变的比值称为弹性模量 E 。 E 实际上是 OA 段的斜率，其意义是产生单位弹性变形时所需应力大小。弹性模量主要取决于材料的本性，是材料最稳定的特性之一，它除随温度升高而逐渐降低外，受其他强化手段（如热处理、冷热加工、合金化等）的影响很小。材料受力时抵抗弹性变形的能力称为刚度，其指标即为弹性模量。弹性模量与形状有关，可通过增加横截面积或改变截面形状的方法提高零件的刚度。

1.1.2 塑性

塑性是指材料受力破坏前承受最大塑性变形的能力，指标为断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 。

断后伸长率是试样断裂后，标距部分的残余伸长与原始标距长度之比的百分率；断面收缩率是试样断裂后，横截面积的最大缩减量与原始横截面积之比的百分率：

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中， L_0 为原始标距； L_u 为断后标距； S_0 为原始横截面积； S_u 为最小横截面积。

伸长率的数值和试样的标距长度有关，标准圆形试样有短试样 ($L_0 = 5d_0$ ， d_0 为试样直径) 和长试样 ($L_0 = 10d_0$) 两种，分别用 A 和 $A_{11.3}$ 表示。

A 和 Z 值越大，材料的塑性越好。良好的塑性是材料进行压力加工的必要条件；断裂前形变量大，有利于机械零件的警示作用，不至于出现突然断裂。

1.1.3 硬度

材料表面局部区域抵抗其他硬物压入的能力称为硬度。硬度越高，表示材料抵抗局部塑性变形的抗力越大。在一般情况下，硬度高耐磨性就好；工程上还可以用硬度高的材料切削、磨加工硬度低材料。根据测量方法不同，常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等。

(1) 布氏硬度

测定布氏硬度的原理如图 1-4 所示。用一定直径的钢球或硬质合金球，在一定载荷的作用下压入试样表面，按规定保持一定时间后卸除载荷，所施加的载荷与压痕球形表面积的比值即为布氏硬度。布氏硬度值可通过测量压痕平均直径 d 查表得到。当压头为钢球时，布氏硬度用符号 HBS 表示，适用于布氏硬度值在 450 以下的材料。压头为硬质合金时用符号 HBW 表示，适用于布氏硬度在 650 以下的材料。实际应用中，布氏硬度不标注单位，也不用于计算。

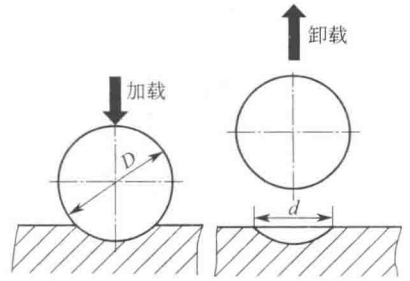


图 1-4 测定布氏硬度的原理

布氏硬度表示方法是硬度数值位于符号前面，符号后面的数值依次是球体直径、载荷大小和载荷保持时间。例如，120HBS10/1000/30 表示直径为 10mm 的钢球在 1000kgf (9.807kN) 载荷作用下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

布氏硬度的优点是测量误差小，数据稳定；缺点是测量费时、压痕大，不适于太薄件、成品件或 HBW 值大于 650 的材料。最常用的钢球压头适于测定退火钢、正火钢、调质钢、铸铁及有色金属的硬度。

(2) 洛氏硬度

利用一定载荷将特定的压头压入被测试样表面，保持一定时间后卸除载荷，根据压痕深度确定的硬度值称为洛氏硬度。洛氏硬度用符号 HR 表示，根据压头类型和主载荷不同，分为 15 种标尺，用于测定不同硬度的材料，常用的标尺为 A、B、C，如表 1-1 所示。

表 1-1 常用洛氏硬度的符号、试验条件及应用

硬度符号	压头类型	总载荷/kgf(N)	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	60(588.4)	20~85	硬质合金、陶瓷、表面淬火钢、渗碳钢等
HRB	φ1.588mm 钢球	100(980.7)	25~100	有色金属、退火钢、正火钢等
HRC	120°金刚石圆锥体	150(1471.1)	20~67	淬火钢、调质钢等

图 1-5 为洛氏硬度测量原理，将压头先加载初试实验力 F_0 ，保持时间不超过 3s，压入到 b ；再施加主试验力 F_1 压入到 c 。经规定保持时间后，卸除主试验力，测量在初试实验力下的残余压痕深度 bd ，在洛氏硬度计的刻度盘上直接读出洛氏硬度值。

国家标准规定洛氏硬度的硬度值标在硬度符号前，如 55~60HRC。数值越大硬度越高。

洛氏硬度的优点是操作迅速简便，压痕小，对工件表面损伤小，适于成品件、表面热处理工件及硬质合金等的检验；缺点是由于压痕小，易受金属表面或内部组织不均匀影响，测量结果分散度大，不同标尺的洛氏硬度值不能直接互相比较。

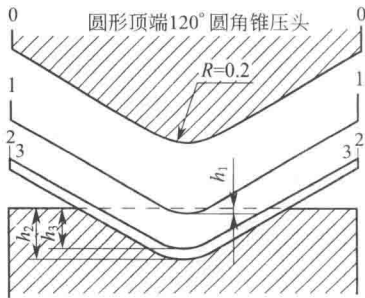


图 1-5 测定洛氏硬度的原理

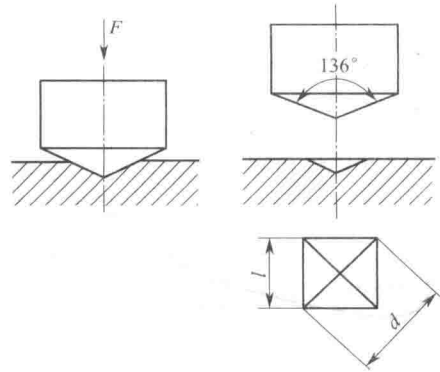


图 1-6 测定维氏硬度的原理

(3) 维氏硬度

维氏硬度测定原理与布氏硬度基本相同，但使用的压头是锥面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体，如图 1-6 所示。测量出试样表面压痕对角线长度的平均值 d ，计算出压痕的面积 S ， F/S 即为维氏硬度值，记作 HV。

维氏硬度保留了布氏硬度和洛氏硬度的优点，既可测量由极软到极硬的材料的硬度，又能互相比较。既可测量大块材料、表面硬化层的硬度，还可测量金相组织中不同相的硬度。由于维氏硬度用的载荷小、压痕浅，特别适合测量软、硬金属及陶瓷等，还可测量显微组织的硬度。

各种不同方法测得的硬度值之间可以查表互换， $61\text{HRC} = 82\text{HRA} = 627\text{HB} = 803\text{HV}_{30}$ 。

铝合金的硬度一般低于 150HB，铜合金的硬度范围约为 70~200HB。退火态的低碳钢、中碳钢、高碳钢的硬度分别约为 120~180HB、180~250HB、250~350HB。中碳钢淬火后硬度可达 50~58HRC，高碳钢淬火后硬度可达 60~65HRC。

1.1.4 韧性

(1) 冲击韧性

活塞销、冲模、锻模、锤杆等许多机械构件在服役时受到冲击载荷的作用。材料抵抗冲击载荷作用而不被破坏的能力称为冲击韧性。在如图 1-7 所示的摆锤式冲击试验机上用规定高度的摆锤对位于简支梁位置的缺口试样（U 形缺口或 V 形缺口）进行一次冲断。测得试样的冲击吸收能量（摆锤冲断试样所损失的势能）用符号 A_k 表示，并得到材料的