



21世纪高等学校新理念教材建设工程

机械工程材料

主编 陈 扬 曹丽云



東北大學出版社
Northeastern University Press



21 世纪高等学校新理念教材建设工程

机 械 工 程 材 料

主 编 陈 扬 曹丽云

副主编 常 伟 岳旭东

东北大学出版社

· 沈 阳 ·

© 陈 扬 曹丽云 2008

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料 / 陈扬, 曹丽云主编. —沈阳: 东北大学出版社, 2008.6

(21 世纪高等学校新理念教材建设工程)

ISBN 978-7-81102-531-6

I. 机… II. ①陈… ②曹… III. 机械制造材料 IV. TH14

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 073730 号

内容简介

本书阐述了工程材料基本理论, 包括工程材料的性能, 金属材料的成分、加工工艺、组织和性能之间的关系及性能的调控; 介绍了常用工程材料, 包括金属材料、陶瓷材料、高分子材料及复合材料; 讨论了机械零件的失效与选材, 以及工程材料在机床、汽车等行业中的应用。

出 版 者: 东北大学出版社

地址: 沈阳市和平区文化路 3 号巷 11 号

邮编: 110004

电话: 024—83687331 (市场部) 83680267 (社务室)

传真: 024—83680180 (市场部) 83680265 (社务室)

E-mail: neuph@neupress.com

Web: <http://www.neupress.com>

印 刷 者: 沈阳市第六印刷厂书画彩印中心

发 行 者: 东北大学出版社

幅面尺寸: 184mm×260mm

印 张: 13.125

字 数: 344 千字

出版时间: 2008 年 6 月第 1 版

印刷时间: 2008 年 6 月第 1 次印刷

责任编辑: 牛连功

责任校对: 闻 艳

封面设计: 唐敏智

责任出版: 杨华宁

ISBN 978-7-81102-531-6

定 价: 25.00 元

前 言

本书由辽宁工业大学出版基金资助出版。

“机械工程材料”是机械类专业的一门技术基础课，其任务是从机械工程的应用角度出发，阐明机械工程材料的基础理论，分析材料的成分、加工工艺、组织与性能之间的关系，介绍常用机械工程材料及其应用等基础知识。本课程的教学目的是使学生在掌握机械工程材料基础理论的基础上，具备根据零件服役条件和性能要求，在设计过程中进行科学选材及合理制定加工工艺路线的初步能力。

根据机械专业和车辆工程专业的特点和实际需要，在本教材编写过程中注意了以下几点：

- ① 在内容安排上，着重阐述金属材料的基础理论、性能的调控方法以及常用的金属材料，其中以钢铁材料为主，适当介绍了非金属材料及复合材料；
- ② 用单独的章节专门介绍了机械和汽车制造业中常用的金属及非金属材料；
- ③ 强化了关于选材和加工工艺路线方面的内容。

全书共分10章。第1章、第2章及第3章由岳旭东副教授编写；第4章和第6章的6.1~6.7部分由曹丽云教授编写；第6章的6.8和6.9部分、第7章由常伟副教授编写；第5章、第8章、第9章和第10章由陈扬教授编写。全书由陈扬教授和曹丽云教授主编。

在本书的编写过程中，参考和引用了一些文献资料的有关内容，在此特向有关作者表示深切的谢意！

编者力图使本书更加符合机械专业和车辆工程专业的培养目标和实际需要。然而，这并非教材的一次编写所能达到的，还需要不断地修改和完善。

由于编者水平有限，错误和不足之处在所难免，敬请读者批评指正。

编 者

2007年12月

冶金工业出版社部分图书推荐

书 名	作 者	定价 (元)
中国冶金百科全书·金属材料	编委会 编	229.00
金属学原理(本科教材)	余永宁 编	56.00
金属学原理习题解答(本科教材)	余永宁 编著	19.00
材料的结构(本科教材)	余永宁 等编	49.00
材料科学基础(本科教材)	李 见 主编	45.00
合金相与相变(第2版)	肖纪美 主编	37.00
钢铁冶金原理(第3版)(本科教材)	黄希祜 编	40.00
冶金物理化学研究方法(第3版)(本科教材)	王常珍 主编	48.00
冶金物理化学(本科教材)	张家芸 主编	39.00
冶金工程实验技术(本科教材)	陈伟庆 主编	39.00
现代物理测试技术(本科教材)	梁志德 等编	29.00
材料腐蚀与防护(本科教材)	孙秋霞 主编	25.00
金属防腐蚀技术(本科教材)	吴继勋 主编	30.00
金属材料学(本科教材)	吴承建 等编	29.00
位错理论及其应用(本科教材)	王亚男 等编	19.00
相图分析及应用(本科教材)	陈树江 等编	20.00
冶金热工基础(本科教材)	朱光俊 主编	36.00
物理化学(第3版)(本科教材)	王淑兰 主编	35.00
材料成形实验技术(本科教材)	胡灶福 等编	16.00
金属材料工程专业实验教程(本科教材)	那顺桑 主编	22.00
材料研究与测试方法(本科教材)	张国栋 主编	20.00
金属学及热处理(高职教材)	孟延军 等编	25.00
工程材料基础(高职教材)	甄丽萍 主编	26.00
物理化学(高职教材)	邓基芹 主编	28.00
稀土永磁材料制备技术(高职教材)	石 富 编著	29.00
高炉炼铁设备(高职教材)	王宏启 等编	36.00
通用机械设备(高职教材)	张庭祥 主编	26.00
现代材料表面技术科学	戴达煌 等编	99.00
一维无机纳米材料	晋传贵 等编	40.00
真空工艺与实验技术	张以忱 编著	45.00
电子枪与离子束技术	张以忱 编著	29.00
真空材料	张以忱 等编	29.00
金属凝固过程中的晶体生长与控制	常国威 等编	25.00
高温用特殊复合材料	徐桂兰 编著	9.80

目 录

第 1 章 材料的性能	1
1.1 材料的力学性能	1
1.2 材料的物理和化学性能	7
1.3 材料的工艺性能	8
第 2 章 材料结构	10
2.1 金属晶体结构	10
2.2 陶瓷的结构	18
2.3 高分子材料的结构	18
第 3 章 材料的凝固	20
3.1 纯金属的结晶	20
3.2 合金的结晶	23
3.3 铁碳合金相图	31
3.4 铸锭的组织及其控制	44
第 4 章 金属的塑性加工	47
4.1 金属的塑性变形	47
4.2 合金的塑性变形	50
4.3 塑性变形对金属组织与性能的影响	51
4.4 塑性变形金属加热时组织与性能的变化	53
4.5 金属的热塑性加工	55
第 5 章 钢的热处理	57
5.1 钢在加热时的转变	57
5.2 过冷奥氏体转变曲线	60
5.3 钢的普通热处理	68
5.4 钢的表面淬火与化学热处理	78

第 6 章 金属材料	84
6.1 钢铁材料的生产及铸锭组织	84
6.2 碳 钢	85
6.3 碳钢的牌号和用途	87
6.4 合金钢	90
6.5 合金结构钢	96
6.6 合金工具钢	107
6.7 特殊性能钢	115
6.8 铸 铁	123
6.9 有色金属及其合金	135
第 7 章 非金属材料	151
7.1 高分子材料	151
7.2 陶瓷材料	163
第 8 章 复合材料	167
8.1 复合材料的基本概念	167
8.2 复合材料的性能	168
8.3 常用复合材料	170
第 9 章 零件失效与选材	177
9.1 零件的失效形式与分析方法	177
9.2 选材的一般原则	180
9.3 选材的基本步骤	183
9.4 机械零件选材的一般方法	184
第 10 章 典型工件的选材及工程材料的应用	188
10.1 齿轮类零件的选材	188
10.2 轴类零件的选材	190
10.3 弹簧类零件的选材	192
10.4 汽车及机床主要零件用材	194

4.2.4 影响再结晶晶粒大小的因素	73
4.3 金属的热塑性变形	74
4.3.1 金属热变形加工与冷变形加工的比较	74
4.3.2 热塑性变形对金属组织和性能的影响	75
练习题与思考题	76
5 钢的热处理	78
5.1 热处理概述	78
5.1.1 热处理的作用	78
5.1.2 热处理的基本类型	78
5.1.3 钢的固态转变及转变临界温度	78
5.2 钢在加热时的转变	79
5.2.1 奥氏体的形成过程	79
5.2.2 影响奥氏体形成速度的因素	80
5.2.3 奥氏体晶粒的大小及其影响因素	82
5.3 钢在冷却时的转变	83
5.3.1 过冷奥氏体的等温冷却转变	84
5.3.2 过冷奥氏体的连续冷却转变	89
5.3.3 连续冷却转变图与等温冷却转变图的比较和应用	90
5.4 钢的退火和正火	90
5.4.1 钢的退火目的及工艺	90
5.4.2 钢的正火目的及工艺	93
5.4.3 退火工艺与正火工艺选择	93
5.5 钢的淬火	94
5.5.1 淬火工艺的选择	94
5.5.2 常用的淬火方法	95
5.5.3 钢的淬透性与淬硬性	96
5.5.4 常见的淬火缺陷及预防	98
5.6 钢的回火	99
5.6.1 回火时的组织转变	99
5.6.2 回火工艺	99
5.6.3 回火脆性	100
5.7 钢的冷处理和时效处理	101
5.7.1 钢的冷处理	101
5.7.2 时效处理	101
5.8 钢的表面热处理	102
5.8.1 钢的表面淬火	102
5.8.2 化学热处理	104
5.9 钢的形变热处理	105

5.9.1 高温形变正火	106
5.9.2 高温形变淬火	106
5.9.3 低温形变淬火	106
5.10 热处理设备简介	107
5.10.1 加热设备	107
5.10.2 冷却设备及其他设备	108
5.10.3 质量检测设备	109
实验 钢的热处理	109
练习题与思考题	111
6 铸铁	112
6.1 概述	112
6.1.1 铸铁的石墨化及影响因素	112
6.1.2 铸铁的组织与性能	112
6.1.3 铸铁的分类	112
6.2 普通灰铸铁	113
6.2.1 灰铸铁的化学成分、组织、性能及用途	114
6.2.2 灰铸铁的孕育处理及孕育铸铁	116
6.2.3 灰铸铁的热处理	116
6.3 球墨铸铁	117
6.3.1 球墨铸铁的化学成分、组织、性能及用途	118
6.3.2 球墨铸铁的热处理	120
6.4 可锻铸铁及蠕墨铸铁	122
6.4.1 可锻铸铁	122
6.4.2 蠕墨铸铁	123
6.5 合金铸铁	125
6.5.1 耐热铸铁	125
6.5.2 耐磨铸铁	126
6.5.3 耐蚀铸铁	126
练习题与思考题	127
7 钢的分类	128
7.1 钢的分类	128
7.1.1 按化学成分分类	128
7.1.2 按冶金质量分类	128
7.1.3 按用途分类	129
7.2 钢的牌号表示方法	129
7.2.1 结构钢	129
7.2.2 工具钢	129

7.2.3 特殊性能钢	130
7.3 钢中的杂质及合金元素的作用	130
7.3.1 杂质元素对钢性能的影响	130
7.3.2 钢中气体的影响	131
7.3.3 合金元素的作用	131
练习题与思考题	134
8 结构钢	135
8.1 碳素结构钢	135
8.1.1 普通碳素结构钢	135
8.1.2 优质碳素结构钢	135
8.2 低合金结构钢	137
8.2.1 低合金结构钢的成分特点	138
8.2.2 低合金结构钢的性能特点	138
8.2.3 常用低合金结构钢	138
8.3 机械制造结构钢	140
8.3.1 渗碳钢	140
8.3.2 调质钢	141
8.3.3 易切削钢	143
8.3.4 弹簧钢	147
8.3.5 滚动轴承钢	149
8.3.6 超高强度钢	151
练习题与思考题	153
9 工具钢	154
9.1 碳素工具钢	154
9.2 合金工具钢	155
9.2.1 刃具钢	155
9.2.2 模具钢	156
9.2.3 量具钢	158
9.3 高速工具钢	158
9.3.1 高速钢的成分特点	158
9.3.2 高速钢的热加工	159
9.3.3 高速钢的类型及应用	160
练习题与思考题	160
10 特殊性能钢	161
10.1 不锈钢	161
10.1.1 马氏体不锈钢	161

10.1.2 铁素体不锈钢	163
10.1.3 奥氏体不锈钢	163
10.1.4 其他类型不锈钢	163
10.2 耐热钢	164
10.2.1 抗氧化钢	164
10.2.2 热强钢	165
10.3 耐磨钢	167
练习题与思考题	167
11 有色金属及其合金	168
11.1 铝及铝合金	168
11.1.1 工业纯铝	169
11.1.2 铝合金的分类及热处理	169
11.1.3 变形铝合金	171
11.1.4 铸造铝合金	173
11.2 铜及铜合金	176
11.2.1 工业纯铜	176
11.2.2 铜合金	177
11.3 其他有色金属及其合金	181
11.3.1 镁及镁合金	181
11.3.2 钛及钛合金	182
11.3.3 钨及钨合金	183
11.3.4 镍、铅、锡、金、银	184
11.4 轴承合金	185
11.4.1 轴承合金的性能要求	185
11.4.2 轴承合金的组织特征	186
11.4.3 常用轴承合金	186
11.5 硬质合金	188
11.5.1 硬质合金的性能特点	188
11.5.2 硬质合金的分类和应用	189
练习题与思考题	190
12 非金属材料	191
12.1 高分子材料	191
12.1.1 高分子材料概述	191
12.1.2 高分子材料的性能特点	192
12.1.3 常用高分子材料	193
12.2 陶瓷材料	197
12.2.1 陶瓷材料概述	197

12.2.2 常用陶瓷材料	199
12.3 复合材料	201
12.3.1 复合材料概述	201
12.3.2 常用复合材料	204
练习题与思考题	210
13 典型零件的选材及热处理工艺分析	211
13.1 常用力学性能指标在选材中的意义	211
13.1.1 刚度和弹性指标	211
13.1.2 硬度和强度指标	212
13.1.3 塑性和冲击韧性指标	212
13.1.4 材料强度、塑性与韧性的合理配合	213
13.2 选材方法	213
13.2.1 根据材料的使用性能选材	213
13.2.2 根据材料的工艺性能选材	215
13.2.3 根据材料的经济性选材	216
13.3 典型零件的选材与热处理工艺分析	216
13.3.1 齿轮	217
13.3.2 轴	218
练习题与思考题	219
附表	221
附表1 压痕直径与布氏硬度对照表	221
附表2 常用结构钢退火及正火工艺规范	226
附表3 常用工具钢退火及正火工艺规范	227
参考文献	228

第1章 材料的性能

材料性能是指材料在外界因素作用下表现出来的行为。在选择材料时,必须考虑材料的相关性能,使之与所要求的性能相符合。材料的性能一般分为使用性能和工艺性能两大类:使用性能是指材料所具备的在使用过程中能正常工作和有一定工作寿命的性能,包括力学性能、物理性能和化学性能。工艺性能是指材料所具备的在加工过程中能顺利进行加工的性能,包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削加工性能等。

使用性能是机械零件材料选材的首要考虑因素。材料用于结构零件时,其力学性能是工程设计、选材的主要依据。在不同使用条件下,对材料力学性能的要求是不同的。本章主要讨论材料的力学性能。

1.1 材料的力学性能

材料在力的作用下所表现出的特性即为材料的力学性能。通常把力的作用称为载荷或负荷。材料的力学性能包括强度、硬度、塑性、韧性、疲劳特性、耐磨性等。材料在外力作用下发生的形状和尺寸变化称为变形,外力去除后能够恢复的变形称为弹性变形,外力去除后不能恢复的变形称为塑性变形。

1.1.1 弹性与刚度

评价材料力学性能的指标是通过拉伸试验测定的。将被测材料按 GB/T 228—2002 要求制成标准拉伸试样(见图 1-1),在拉伸试验机上夹紧试样两端,缓慢施加轴向载荷,使之发生变形直至断裂。通过试验可以得到拉伸力与试样伸长量之间的关系曲线(称为拉伸曲线)。为消除试样几何尺寸对实验结果的影响,将拉伸过程中试样所受的拉伸力转化为试样单位截面积上所受的力(称为应力),试样伸长量转化为试样单位长度上的伸长量(称为应变),得到应力-应变曲线,其形状与拉伸曲线完全一致。图 1-2 所示为低碳钢的应力-应变曲线。在应力-应变曲线中,OA 段为直线,此时将外力去除后,试样将恢复到原来的尺寸,将 OA 段称为弹性变形阶段。A 点所对应的应力为材料承受最大弹性变形时的应力,称为弹性极限,用

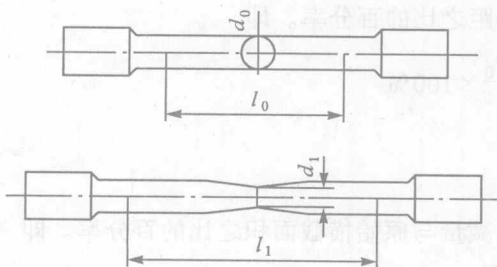


图 1-1 圆形标准拉伸试样

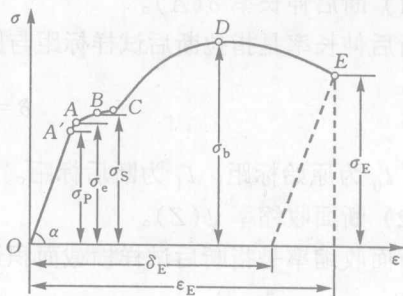


图 1-2 低碳钢的应力-应变曲线

σ_e 表示。其中 OA' 段, 应力与应变成正比关系, 将 σ_p 称为比例极限。由于 A 点和 A' 点很接近, 一般不作区分。

在弹性范围内, 应力与应变的比值称为弹性模量 E , 即 $E = \sigma / \varepsilon$ 。在工程上, E 称为材料的刚度, 是材料的重要力学性能指标之一, 它表征材料受力时对弹性变形的抗力。其值愈大, 材料产生一定量的弹性变形所需的应力愈大, 表明材料不易产生弹性变形, 即材料的刚度大。如果材料的刚度不足, 则易发生过大的弹性变形而产生失效。

金属材料弹性模量的大小主要取决于基体金属的本性, 除随温度升高而逐渐降低外, 难以通过其他强化材料的方法(如合金化、热处理、冷热加工等)使之改变。工件的刚度除取决于材料的弹性模量外还与工件的形状和尺寸有关, 可以通过增加横截面积或改变截面形状来提高刚度。

1.1.2 强度与塑性

1. 强度

强度是指材料在外力作用下抵抗变形和破坏的能力。常用的材料强度指标有屈服强度和抗拉强度等。

(1) 屈服强度。

材料在外力作用下发生塑性变形的最小应力称为屈服强度。在图 1-2 中, 应力超过 B 点后, 材料将发生塑性变形。在 BC 段, 负荷不增加而应变仍在增大, 这种现象称为屈服。 B 点所对应的应力就是屈服强度, 用 σ_s 表示。对于无明显屈服现象的材料, 则规定以拉伸时产生 0.2% 残余应变时的应力值作为屈服强度, 即条件屈服强度, 记作 $\sigma_{0.2}$ ($R_{p0.2}$)。 σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是机械零件设计和选材的重要依据。

(2) 抗拉强度。

抗拉强度反映材料产生最大均匀变形的抗力, 是工程上最重要的力学性能指标之一。图 1-2 中, CD 段为均匀塑性变形阶段, 在这一阶段, 应力随应变增加而增加, 即产生应变强化。超过 D 点后, 试样开始发生局部塑性变形, 即出现颈缩, 随着应变增加, 应力明显下降, 并迅速在 E 点断裂。 D 点所对应的应力为材料断裂前所承受的最大应力, 称为抗拉强度, 用 σ_b (R_m) 表示。

2. 塑性

塑性是指材料在外力作用下破坏前可承受最大塑性变形的能力。常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率 $\delta(A)$ 。

断后伸长率是指拉断后试样标距与原始标距之比的百分率。即

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

式中, l_0 为原始标距, l_1 为断后标距。

(2) 断面收缩率 $\psi(Z)$ 。

断面收缩率是指断后试样横截面积最大缩减量与原始横截面积之比的百分率。即

$$\psi = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$$

式中, F_0 为原始横截面积, F_1 为断后最小横截面积。

断后伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 越大, 材料的塑性越大。两者相比, 用断面收缩率表示塑性比伸长率更接近真实变形。

当 $\delta > \psi$ 时, 试样无颈缩, 为脆性材料表征; 当 $\delta < \psi$ 时, 试样有颈缩, 为塑性材料表征。

材料伸长率的大小与试样原始标距 l_0 和原始截面积 F_0 有关。在 F_0 相同的情况下, l_0 愈大 δ 愈小。因此, 对于不同材料的试样, 要得到可比较的塑性值, 必须有 l_0/d_0 为一常数。国家标准规定, 当 $l_0=10d_0$ ($l_0=11.3$) 时, 伸长率用 $\delta(A_{11.3})$ 表示; 当 $l_0=5d_0$ 时, 伸长率用 δ_5 表示, 显然, $\delta_5 > \delta$ 。

金属材料具有一定的塑性才能进行各种变形加工。另一方面, 材料具有一定塑性, 可以提高零件的使用可靠性, 防止零件突然断裂破坏。

材料从变形到断裂整个过程所吸收的能量称为材料的韧性, 具体地说就是拉伸曲线与横坐标所包围的面积。

必须指出, 图 1-2 所示的拉伸曲线是一种最典型的情况, 并非所有的材料都具有相同类型的拉伸曲线。铝、铜及其合金的拉伸曲线没有明显的屈服“平台”; 某些奥氏体钢断裂前虽产生一定量的塑性变形, 但不形成颈缩; 陶瓷、玻璃类材料只有弹性变形而没有明显的塑性变形; 橡胶类材料弹性变形量很大, 只有弹性变形而不产生或产生很微小的塑性变形; 高分子材料的拉伸曲线具有多种形式。

1.1.3 硬 度

硬度是指材料抵抗局部塑性变形的能力, 是表征材料性能的一个参量。硬度的测定方法很多, 现在多用压入法测定。根据测量方法的不同, 常用的硬度指标有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度和显微硬度等。用各种方法所测量的硬度值不能直接相比较, 可以通过硬度对照表换算。

硬度试验所用设备简单, 操作方便快捷, 一般仅在材料表面局部区域产生很小的压痕, 可对大多数成品件直接检验, 无需专门加工试样。

1. 布氏硬度

布氏硬度(HB)应用最久、最广泛。布氏硬度的测试原理如图 1-3 所示, 在一定大小载荷 P 的作用下, 将直径为 D 的钢球或硬质合金球压入被测试样的表面, 保持规定的时间后卸除载荷, 所施加的载荷与压痕表面积的比值即为布氏硬度。布氏硬度值可通过用读数显微镜测量压痕平均直径 d 查表得到。材料愈软, 压痕直径愈大, 布氏硬度值愈小。

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, 适用于布氏硬度值在 650 以下的材料。

布氏硬度值的表示方法为: 硬度值(+)HBW(HBS)(+)球直径(mm)/载荷值(N)/时间(s)。例如: 180HBW10/1000/20 表示用直径为 10mm 的硬质合金球在 1000kgf(9.807kN)载荷作用下保持 20s 测得的布氏硬度值为 180。

布氏硬度的优点是压痕面积大, 测量结果误差小, 数据稳定, 与强度之间有很好的对应

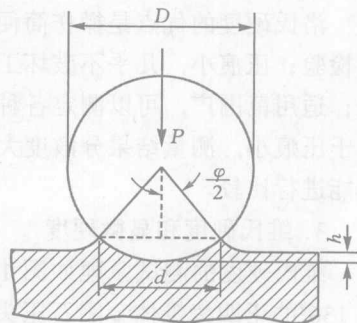


图 1-3 布氏硬度测试原理

关系。缺点是由于压痕大，不适于成品零件和薄而小的零件。最常用的钢球压头适于测定退火钢、正火钢、铸铁及有色金属的硬度。

材料的 σ_b 与 HB 之间的经验关系为：

- ① 低碳钢， $\sigma_b(\text{MPa}) \approx 3.6\text{HB}$ ；
- ② 高碳钢， $\sigma_b(\text{MPa}) \approx 3.4\text{HB}$ ；
- ③ 灰铸铁， $\sigma_b(\text{MPa}) \approx 1\text{HB}$ 或 $\sigma_b(\text{MPa}) \approx 0.6(\text{HB} - 40)$ 。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度的测试原理如图 1-4 所示。将一定规格的压头（金刚石圆锥体或钢球），在一定载荷作用下压入试样表面，保持一定时间后卸除载荷，然后测定压痕的深度，计算硬度值，用符号 HR 表示。材料愈软，压痕愈深，洛氏硬度值愈小。

为了能用同一台硬度计测定不同材料的硬度，常采用不同的压头类型和载荷以获得不同的洛氏硬度标尺——共分为 9 个标尺。常用洛氏硬度标尺的符号、试验条件和应用范围如表 1-1 所列。HRA 用于测量高硬度材料，如硬质合金、表淬层和渗碳层。HRB 用于测量低硬度材料，如有色金属和退火、正火钢等。HRC 用于测量中等硬度材料，如调质钢、淬火钢等。HRC 应用最多，HRC 与 HBS 之间关系约为 1:10。

表 1-1

常用洛氏硬度标尺的符号、试验条件和应用

洛氏硬度标尺的符号	压头类型	总载荷/N	硬度范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥	588.4	20~85	硬质合金、高硬度表面
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 钢球	980.7	20~100	退火钢、有色金属
HRC	120°金刚石圆锥	1471	20~70	淬火钢、调质钢

洛氏硬度的表示方法为：硬度值(+)HR(+)使用的标尺。例如：60HRA 表示用 A 标尺测定的洛氏硬度值为 60。实际检测时，HR 值可从洛氏硬度计的百分盘上直接读出。

洛氏硬度的优点是操作简便迅速，适用于大量生产中的成品检验；压痕小，几乎不破坏工件表面，可对工件直接进行检验；适用范围广，可以测定各种软硬不同材料的硬度。缺点是由于压痕小，测量结果分散度大。采用不同标尺测得的硬度值不能进行比较。

3. 维氏硬度和显微硬度

维氏硬度的测试原理如图 1-5 所示。将顶部两相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头在载荷 P 的作用下压入试样表面，保持一定时间后卸除载荷，根据压痕单位面积所承受的载荷得到的值即为维氏硬度。像测定布氏硬度值一样，由于维氏硬度测定时压痕为四方锥形，也可通过测量压痕对角线长度 d 查表得到。

维氏硬度值的表示方法为：硬度值(+)HV(+)载荷值/载荷保持时间。例如 640HV30/

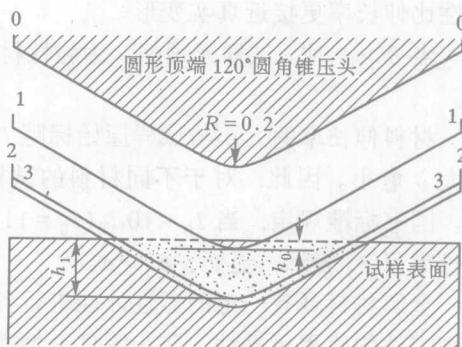


图 1-4 洛氏硬度测试原理

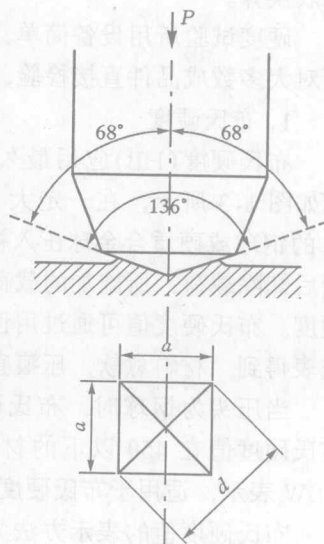


图 1-5 维氏硬度测试原理

20 表示在 30kg 载荷作用下，持续 20s 测得的维氏硬度值为 640。

维氏硬度具有布氏硬度和洛氏硬度的优点，载荷大小可以任意选择，适用范围广，可用于测量各种软硬材料的硬度。

显微硬度试验实质上就是小载荷的维氏硬度试验，试验载荷在 1000g 以下、压痕对角线长度以 μm 计时得到的维氏硬度值，同样用 HV 表示，可用于测量金相组织中不同相的硬度。

根据施加载荷范围的不同，规定了三种维氏硬度的测定方法，如表 1-2 所列。

表 1-2 维氏硬度的测定方法

载荷范围/N	硬度符号	试验名称
$P \geq 49.03$	$\geq \text{HV5}$	维氏硬度试验
$1.961 \leq P < 49.03$	HV0.2~HV5	小负荷维氏硬度试验
$0.09807 \leq P < 1.961$	HV0.01~HV0.2	显微维氏硬度试验

1.1.4 冲击韧性

许多零部件和工具在服役时要受到冲击载荷的作用，冲击载荷就是以很大的速度作用于工件上的载荷。在评价材料时，不能单用在静载荷作用下的指标来衡量，还必须考虑材料抵抗冲击载荷的能力。材料抵抗冲击载荷而不破坏的能力称为冲击韧性，以在冲击力作用下材料破坏时单位面积所吸收的能量 a_K 表示。在图 1-6 所示的摆锤式冲击实验机上用规定高度的摆锤对处于简支梁状态的缺口试样进行一次冲断，可测得冲击吸收功，从试验机上直接读出，用 A_k 表示。冲击吸收功与试样缺口处的截面积之比称为冲击韧性值，用 a_K 表示。冲击试验所用试样为标准夏比缺口试样，如图 1-7 所示。

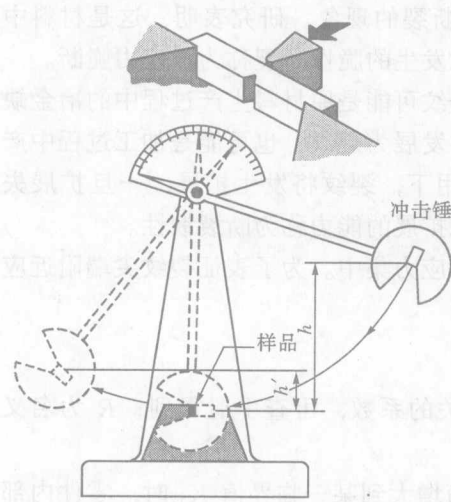


图 1-6 摆锤式冲击试验机示意图

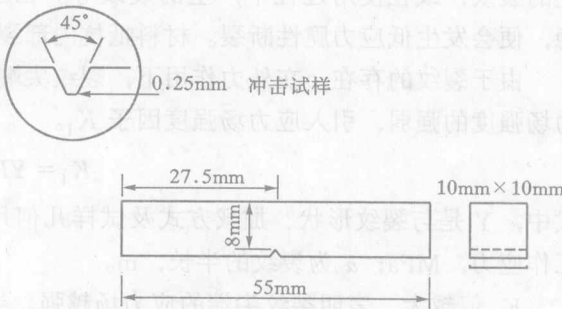


图 1-7 V 型缺口冲击试样

实践表明，冲击韧性对材料的一些缺陷很敏感，能够灵敏地反映出材料品质、宏观缺陷和显微组织方面的微小变化，因而是生产上用来检验冶炼、热加工得到的半成品和成品质量的有效方法之一。