



高职高专“十一五”规划教材
机械电子类系列

工程材料及热处理

GONGCHENG CAILIAO JI RECHULI

主编 ◆ 谢乐林

高职高专“十一五”规划教材

——机械电子类系列

工程材料及热处理

主 编 谢乐林

副主编 练 勇 黄本多

编 委 谢乐林 练 勇 黄本多

倪亚辉 蒋勇敏 黄晓燕

宋 鸣 陈 春



哈尔滨工程大学出版社

内 容 简 介

本书是根据高职院校为培养生产第一线高技能技术人员的知识结构及培养目标要求,结合教学实践的效果,按照教育部对高职专业课程书的编写要求而编写的。

本书共分九章,内容包括工程材料的性能;金属材料基础知识;铁碳合金;钢的热处理;合金钢;铸铁;非铁金属材料与金属的表面处理;非金属材料与复合材料;工程材料的选用等,在内容的讲解上力求浅显易懂,并且总结了作者多年的教学经验。本书的各章后均附有思考题,可以帮助读者更好地掌握每章的内容。

该书紧跟高职高专教材的发展步伐,强调学生实践能力、创造能力的培养,非常适合作为高职高专院校机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和 CAD/CAM 专业教材,还可供从事机械加工的工程技术人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

工程材料及热处理/谢乐林主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社, 2010.6

ISBN 978 - 7 - 81133 - 784 - 6

I. ①工… II. ①谢… III. ①工程材料②热处理
IV. ①TB3②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 090377 号

出版发行 哈尔滨工程大学出版社
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号
邮政编码 150001
发行电话 0451 - 82519328
传 真 0451 - 82519699
经 销 新华书店
印 刷 四川墨池印务有限公司
开 本 787mm×1092mm 1/16
印 张 11.25
字 数 282 千字
版 次 2010 年 6 月第 1 版
印 次 2010 年 6 月第 1 次印刷
定 价 21.00 元
<http://press.hrbeu.edu.cn>
E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

前言

近年来,随着我国制造业的快速发展,制造技术的迅速进步,对设备操作者提出了新的要求,新兴的制造业需要既有一定技术知识素质又能熟练操作的高素质劳动者。为使职业教育满足这种变化和要求,其中教材建设成为职业教育改革的重要和先导性内容。

为适应当前我国高职高专教育的发展要求,配合高职高专院校的教学和教材改革,我们组织专家、示范高职院校的骨干教师及相关行业的工程师,共同策划编写了一套符合当前职业教育精神的高质量、实用型教材。

该系列教材充分体现了高职高专教材的特点,力求以培养职业能力为本,以培养学生的实践能力和知识运用能力为核心,对基础理论和知识强调“够用和实用”,同时注意吸取其他教材的优点,总结各学校教学经验,并且注意适当融入学科的新进展、新成果。

该系列教材在编写中根据教材内容的要求,采取“基于工作任务导向”模式和“知识与能力结构”模式的编写格式,紧跟高职高专教材的发展步伐,强调学生实践能力、创造能力的培养,使学生在2~3年的时间内,通过学习掌握本专业所需的基本技术技能和必要的基本知识。

该系列教材主要针对机械制造、模具设计与制造、数控加工、机电一体化、设备维修和CAD/CAM专业,涵盖了全部的专业基础课和大部分专业课。第一批共20本,将于2010年春出版。

《工程材料及热处理》是高等专科学校、高等职业技术学院机械类专业的一门技术基础课。本课程主要介绍机械类专业常用工程材料的基础知识、基本理论和基本应用知识,为其专业技术课程学习和从事相关技术工作奠定基础。根据高职高专培养技术应用型人才的培养目标以及企业对人才规格的需求,参考教育部1999年制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》,在编写本教材时注意了以下几点:

1. 在内容安排上,全书分为工程材料基础知识、常用工程材料及热处理基本知识、材料及热处理应用知识三个部分。每个部分内容均以基础知识、基本理论和基本应用知识为主线,

适当增加部分选修内容。

2. 在内容处理上,以基础知识为骨干,理论知识以应用为目的,以“必须、够用”为度,作适当的精简与合并,并强化了材料及热处理应用知识。

3. 在文字编排上,力求做到文字简练、语言规范、图文并茂、通俗易懂,并以章为教学单元,提出了每章教学基本要求,以利于学生学习。

4. 在学时安排上,本教材参考学时为42~46学时(含实验6~10学时),带*部分为选修内容,可供各高职高专院校根据不同专业要求及实验教学条件加以选择。

本教材由多年从事高职高专材料课程教学的教师编写。谢乐林编写第4、5、9章、第3章第3节及全书统稿;练勇编写第1、2章及第3章第1、2节;黄本多编写第6、7、8章。

在本书的编写过程中,我们参考了许多能找到的有关方面的文献和资料,包括互联网上的一些信息,在此一并表示感谢!由于时间仓促,作者水平有限,书中错误在所难免,希望广大师生在使用过程中提出宝贵意见,请将您的建议或意见发送至 19630807lql@163.com,与我们联系。并恳请全国各地的高职高专院校教师积极加入该系列规划教材的策划和编写队伍中来,以便我们在今后的工作中不断改进和完善,使这套教材成为高职高专院校的精品教材。我们的网站 <http://www.dztf.com> 将尽可能为您提供免费的电子教案等教学资料下载。

编者

2010年6月

目 录

绪论	1
第 1 章 工程材料的性能	2
1.1 静载荷时材料的力学性能	2
1.1.1 强度、刚度和塑性	2
1.1.2 硬度	4
1.2 动载荷时材料的力学性能	6
1.2.1 冲击韧性	6
1.2.2 疲劳抗力	7
1.3 材料的物理、化学及工艺性能	7
1.3.1 物理性能	7
1.3.2 化学性能	8
1.3.3 工艺性能	8
思考题	9
第 2 章 金属材料基础知识	10
2.1 金属的组织结构与结晶	10
2.1.1 金属的晶体结构和组织	10
2.1.2 金属的结晶	12
2.2 合金的相结构与结晶	13
2.2.1 合金的基本概念	13
2.2.2 合金的相结构与组织	14
2.2.3 合金的结晶	15
2.3 金属的塑性变形和强化	18
2.3.1 金属的塑性变形	18
2.3.2 金属的强化	20
思考题	21
第 3 章 铁碳合金	23
3.1 铁碳合金的基本相	23
3.1.1 纯铁的同素异晶转变	23
3.1.2 铁碳合金的基本相	23
3.2 铁碳合金状态图	24
3.2.1 Fe-Fe ₃ C 状态图概述	25
3.2.2 碳钢的结晶过程与组织转变	26
3.2.3 白口铸铁结晶过程简介	28

3.2.4	铁碳合金的性能以及状态图的应用.....	28
3.3	非合金钢（碳钢）.....	29
3.3.1	钢材生产过程.....	30
3.3.2	杂质对碳钢性能的影响.....	30
3.3.3	碳钢的分类、牌号和用途.....	31
	思考题.....	35
第4章	钢的热处理.....	36
4.1	钢热处理时组织转变.....	36
4.1.1	钢加热时奥氏体的形成.....	36
4.1.2	奥氏体冷却时的组织转变.....	38
4.2	钢的退火与正火.....	43
4.2.1	钢的退火.....	43
4.2.2	钢的正火.....	46
4.2.3	退火与正火的应用.....	46
4.3	钢的淬火与回火.....	47
4.3.1	钢的淬火.....	47
4.3.2	淬火钢的回火.....	50
4.3.3	淬火钢的冷处理.....	52
4.3.4	钢的淬硬性 与 淬透性.....	52
4.4	钢的表面热处理与化学热处理.....	54
4.4.1	表面热处理.....	54
4.4.2	化学热处理.....	56
4.5	钢的热处理缺陷及淬火件的结构工艺性.....	59
4.5.1	常见的热处理缺陷.....	59
4.5.2	淬火件的结构工艺性.....	60
4.6	热处理技术条件与工序位置.....	61
4.6.1	热处理技术条件.....	61
4.6.2	热处理工序位置安排.....	62
	思考题.....	65
第5章	合金钢.....	69
5.1	合金元素在钢中的作用.....	69
5.1.1	固溶强化铁素体.....	69
5.1.2	形成合金碳化物.....	70
5.1.3	细化奥氏体晶粒.....	70
5.1.4	稳定奥氏体.....	70
5.1.5	阻碍马氏体分解.....	71

5.2	合金钢的分类和牌号表示方法.....	73
5.2.1	合金钢的分类.....	73
5.2.2	合金钢的牌号表示法.....	73
5.3	合金结构钢.....	74
5.3.1	机器用合金结构钢.....	74
5.3.2	工程用合金结构钢.....	82
5.4	合金工具钢.....	83
5.4.1	合金刃具钢.....	83
5.4.2	高速工具钢.....	84
5.4.3	合金模具钢.....	87
5.5	特殊性能钢.....	90
5.5.1	不锈钢.....	90
5.5.2	高锰耐磨钢.....	92
5.5.3	耐热钢.....	93
	思考题.....	93
第6章	铸铁.....	95
6.1	铸铁的分类及碳的石墨化.....	95
6.1.1	铸铁的分类.....	95
6.1.2	铸铁中碳的石墨化.....	95
6.2	灰铸铁.....	97
6.2.1	灰铸铁的成分、组织与性能.....	97
6.2.2	灰铸铁的牌号与应用.....	98
6.2.3	灰铸铁的热处理.....	98
6.3	球墨铸铁.....	99
6.3.1	球墨铸铁的成分、组织与性能.....	99
6.3.2	球墨铸铁的牌号和应用.....	100
6.3.3	球墨铸铁的热处理.....	100
6.4	其他铸铁.....	101
6.4.1	可锻铸铁.....	101
6.4.2	蠕墨铸铁.....	102
6.4.3	合金铸铁.....	103
	思考题.....	104
第7章	非铁金属材料及金属的表面处理.....	105
7.1	铝及铝合金.....	105
7.1.1	工业纯铝.....	105
7.1.2	铝合金.....	105

7.2	铜及铜合金	110
7.2.1	工业纯铜.....	110
7.2.2	铜合金.....	110
*7.3	钛及钛合金	113
7.3.1	工业纯钛.....	113
7.3.2	钛合金.....	113
7.4	轴承合金	115
7.4.1	轴承合金的性能和组织特点.....	115
7.4.2	常用轴承合金.....	115
7.5	粉末冶金材料.....	117
7.5.1	硬质合金.....	117
7.5.2	其他粉末冶金材料.....	119
7.6	金属的表面处理.....	119
7.6.1	金属表面强化处理.....	119
7.6.2	金属表面防腐处理.....	122
7.6.3	金属表面装饰处理.....	123
	思考题	124
第 8 章	非金属材料与复合材料.....	125
8.1	高分子材料的基础知识.....	125
8.1.1	高分子化合物的概念.....	125
8.1.2	分子链的结构、特性与化学反应.....	125
8.1.3	高分子材料的力学状态.....	126
8.1.4	高分子材料的分类.....	127
8.2	高分子材料	127
8.2.1	塑料	127
8.2.2	橡胶	129
8.2.3	合成胶粘剂.....	130
8.3	陶瓷	131
8.3.1	陶瓷的分类与组成.....	131
8.3.2	常用工业陶瓷.....	132
8.4	复合材料	133
8.4.1	复合材料的组成与分类.....	133
8.4.2	复合材料的特性.....	133
8.4.3	常用复合材料.....	134
	思考题	134
第 9 章	工程材料的选用.....	135

9.1 零件的失效	135
9.1.1 失效及其形式.....	135
9.1.2 失效的原因.....	136
9.2 选材的原则、步骤及方法.....	136
9.2.1 选材的原则.....	136
9.2.2 选材的步骤及方法.....	137
9.3 常用机械零件的选材.....	140
9.3.1 齿轮类零件的选材.....	140
9.3.2 轴类零件的选材.....	142
9.3.3 弹簧类零件的选材.....	144
9.3.4 其他典型机械零件的选材.....	146
9.4 典型工模具的选材.....	148
9.4.1 典型刀具的选材.....	148
9.4.2 量具的选材.....	149
9.4.3 典型模具的选材.....	150
思考题.....	155
附 录	157
附录 I 黑色金属硬度及强度的换算表.....	157
附录 II 常用钢的热处理规范.....	160
附录 III 热处理技术条件用的符号.....	162
附录 IV 常用钢的临界淬透直径.....	163
附录 V 接触疲劳强度与表面硬度、材料、热处理的关系.....	164
附录 VI 典型冷作模具及热作模具用钢.....	165
参考文献	169

绪 论

材料、能源、信息技术和生物工程是现代文明的四大支柱。其中，材料是人类生活和社会发展的物质基础。因此，许多工业化国家都把材料科学作为重点发展学科之一，可见材料在现代文明社会发展中的重要地位。

材料的种类很多，按照材料的使用性能，材料可分为结构材料和功能材料两大类。结构材料的使用性能主要是力学性能，功能材料的使用性能主要是光、电、磁、热、声等功能性能。机械工程中，用于制作工程构件、机械零件和工具的固体结构材料称为机械工程材料（通常称作工程材料）。

工程材料可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是最重要的工程材料，分为钢铁（即黑色金属）材料和非铁金属（即有色金属）材料。非铁金属材料是指除钢铁材料以外的其他金属材料，包括铝及铝合金、铜及铜合金、钛及钛合金等非铁合金；钢铁材料是指铁和以铁为基的合金，如钢、铸铁、铁合金等，是机械制造中应用最广的金属材料，占整个机械工程材料的90%左右。

非金属材料是指除金属材料和复合材料以外的材料。机械制造中常用的有高分子材料、陶瓷材料等。非金属材料不仅能代替部分金属材料，而且具有金属材料所不及的某些特殊性能，应用日益广泛，已发展成为机械工程材料不可缺少的独立组成部分。

复合材料是指由两种或两种以上的金属或非金属材料，经人工配制而成的新型工程材料，具有单一金属或非金属材料无法具备的优良综合性能，是机械制造中不可缺少的材料组成部分，并与金属材料、非金属材料相互补充，形成完整的材料体系。

《工程材料及热处理》是高职高专机械类专业必修的技术基础课，其教学目的和任务是使学生获得常用工程材料的基础知识、基本理论和应用知识，为后续专业课学习和今后从事生产技术工作奠定基础。本教材内容由如下三部分组成。

(1) 材料基础知识——介绍工程材料的性能，金属及合金的组织结构与结晶，金属的塑性变形与强化；

(2) 材料及热处理基本知识——介绍金属材料的基本理论，常用金属材料及其热处理，金属材料的表面处理，常用非金属材料及复合材料；

(3) 材料及热处理应用知识——介绍零件的失效，选材原则、步骤及方法，常用机械零件和典型工模具的选材。

学习本课程后，使学生达到以下基本要求：

(1) 熟悉常用工程材料的成分、组织和性能间的关系及变化规律；

(2) 掌握常用金属材料的种类、牌号、热处理方法、性能特点和应用范围，了解常用非金属材料及复合材料的种类、特性和用途；

(3) 熟悉机械零件与工具的选材步骤与方法，初步具有确定典型零件及工具材料及热处理方法的能力。

本课程的实践性和应用性很强，宜安排在金工实习后学习。教材中工程材料的选用，热处理方法的选择及其工序位置安排等内容，尚需经后续相关课程教学、课程设计、毕业设计中反复练习、巩固和提高后，方能达到基本掌握和应用的要求。

第 1 章 工程材料的性能

教学基本要求：通过本章教学，应使学生掌握强度、硬度、塑性、韧性的概念、判据、表示符号及其适用条件；熟悉刚度、疲劳抗力的概念、判据、表示符号及应用；了解材料常用物理、化学和工艺性能的种类及应用。

工程材料的性能分为使用性能和工艺性能。使用性能是指为保证零件正常工作和一定的工作寿命，材料应具备的性能，它包括力学性能、物理和化学性能；工艺性能是指为保证零件的加工过程顺利进行和加工质量，材料应具备的性能，如铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理工艺性能等。由于机械零件和工具在工作时通常都要承受一定的载荷，故用作机械零件和工具的工程材料主要应具有良好的力学性能，且载荷性质不同，对材料力学性能要求不同。

1.1 静载荷时材料的力学性能

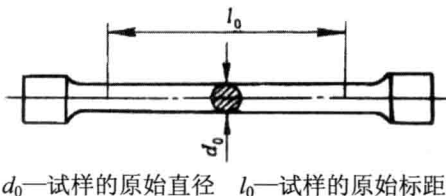
静载荷时材料的力学性能是指材料在逐渐增大的静载荷作用下，抵抗变形与断裂或产生塑性变形的能力。主要包括强度、刚度、塑性和硬度。

1.1.1 强度、刚度和塑性

材料在静载荷作用下，一般依次产生弹性变形、塑性变形直至断裂。根据材料在静载荷作用下所表现出的力学行为特征，将其抵抗弹性变形的能力称为刚度；抵抗塑性变形与断裂的能力称为强度；产生塑性变形的能力称为塑性。测定材料强度、刚度和塑性判据的常用方法是拉伸试验。

1. 拉伸试验

拉伸试验在拉伸试验机上进行。试验前应将被测材料制成 $l_0=10d_0$ （称为长试样）或 $l_0=5d_0$ （称为短试样）的圆形截面标准试样，如图 1.1 所示。试验时将试样两端装夹在试验机的夹头上，开始缓慢施加拉伸力。随拉伸力缓慢增大，试样逐渐被拉长，直至断裂，并可测得拉伸力 F 与伸长量 Δl 的关系曲线（称为拉伸曲线）如图 1.2 所示。



d_0 —试样的原始直径 l_0 —试样的原始标距

图 1.1 圆截面拉伸试样

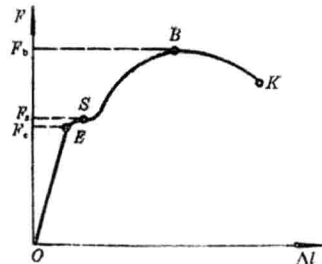


图 1.2 退火低碳钢的拉伸曲线

由拉伸曲线可见：当拉伸力 F 不超过 F_e 时，试样只发生弹性伸长；超过 F_e 后，试样开始出现微量塑性伸长；当达到 F_s 时，曲线上出现水平阶段，表示拉伸力 F 不增加而试样继续塑性伸长，此现象称为屈服；当拉伸力 F 超过 F_s 后，试样开始发生明显的均匀塑性伸长；当超过 F_b 时，试样某处横截面开始局部缩小（称为缩颈），直至到 K 点发生断裂。

2. 强度

在静载荷作用下，材料抵抗塑性变形和断裂的能力称为强度。

为消除材料尺寸因素的影响和便于比较不同材料的强度，材料的强度采用应力（指试样单位面积上的内力，符号为 σ ）来度量，判据主要有弹性极限、屈服点和抗拉强度。

(1) 弹性极限 弹性极限是指试样产生完全弹性变形时所能承受的最大拉应力，用符号 σ_e 表示，单位为 MPa。其计算公式为

$$\sigma_e = F_e / S_0$$

式中 F_e ——试样在弹性伸长范围内承受的最大拉伸力，N；

S_0 ——试样的原始截面积， mm^2 。

显然，弹性极限是表征材料在拉伸力作用下，抵抗发生塑性变形的能力。

(2) 屈服点 屈服点是指试样产生屈服现象时所承受的拉应力，用符号 σ_s 表示，单位为 MPa。其计算公式为

$$\sigma_s = F_s / S_0$$

式中 F_s ——试样屈服时承受的拉伸力（N）；

S_0 ——试样的原始截面积（ mm^2 ）。

对没有明显屈服现象的材料，难以测定其 σ_s ，故国标规定以产生 0.2% 残余塑性变形时的拉应力作为条件屈服极限，用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

σ_s 和 $\sigma_{0.2}$ 是表征材料在拉伸力作用下，抵抗产生明显塑性变形的能力。零件工作时，一般都不允许产生明显塑性变形。因此， σ_s 是设计和选材的主要参数。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样断裂前承受的最大拉应力，用符号 σ_b 表示，单位为 MPa。其计算公式为

$$\sigma_b = F_b / S_0$$

式中 F_b ——试样拉断前承受的最大拉伸力（N）；

S_0 ——试样的原始截面积（ mm^2 ）。

抗拉强度是表征在拉伸力作用下，材料抵抗断裂的能力。 σ_b 愈高的材料，其承载能力愈强，愈有利于节省金属材料。因此， σ_b 也是设计和选材的主要参数。

2. 刚度

由拉伸曲线中 OE 线段可见，当拉伸力 F 不超过 F_e 时，试样只发生弹性伸长并遵守虎克定律。 OE 线段的斜率愈大，发生的弹性伸长量 ΔL 愈小，材料抵抗弹性变形的能力愈强；反之，材料抵抗弹性变形的能力愈弱。

在静载荷作用下，材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。其判据为正弹性模量（又称杨氏弹性模量），用符号 E 表示，单位为 MPa。其计算公式为

$$E = \sigma / \varepsilon$$

式中 σ ——应力，即 $\sigma = F / S_0$ （MPa）；

ε ——应变，即 $\varepsilon = \Delta L / l_0$ 。

正弹性模量 E 是表征在拉伸力作用下，金属抵抗弹性伸长的能力。金属的正弹性模量 E

愈大，金属抵抗弹性伸长的能力就愈强。

4. 塑性

在静载荷作用下，金属断裂前产生塑性变形的能力称为塑性。常用的塑性判据是断后伸长率和断面收缩率。

(1) 断后伸长率 断后伸长率是指试样拉断后，标距的伸长量与原始标距的百分比，用符号 δ 表示。其计算公式为

$$\delta = \frac{l - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1.5)$$

式中 l_0 —试样原始标距长度 (mm)；

l —试样拉断后的标距长度 (mm)。

长试样的断后伸长率用符号 δ_{10} 表示，常写作 δ ；短试样的断后伸长率用符号 δ_5 表示。同种材料的 $\delta_5 > \delta_{10}$ ，但不能直接进行比较。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后，颈缩处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比称为断面收缩率，用符号 ψ 表示。其计算公式为

$$\psi = \frac{S_0 - S}{S_0} \times 100\% \quad (1.6)$$

式中 S_0 —试样的原始横截面积 (mm^2)；

S —试样拉断后颈缩处的最小横截面积 (mm^2)。

金属材料的伸长率和断面收缩率愈大，表示其塑性愈好。塑性好的金属，断前可产生大量的塑性变形，不仅易于对其进行压力加工成形，还有利于提高零件工作的安全性。

1.1.2 硬度

硬度是指材料抵抗硬物压入其表面的能力，即抵抗局部塑性变形的能力。它是衡量金属材料软硬程度的依据。

金属材料的硬度是通过硬度试验测定的。常用的硬度试验方法有布氏硬度试验法、洛氏硬度试验法和维氏硬度试验法，测得的硬度分别称为布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验是在布氏硬度计上进行，测试原理如图 1.3 所示。布氏硬度试验采用直径为 D 的淬硬钢球（或硬质合金球）作为压头，以相应的试验力 F 压入试样表面，保持一定时间后卸除试验力，试样表面留下直径为 d 的球冠形压痕。以试验力 F 除以压痕表面积 S 所得的商作为布氏硬度值（单位为 kgf/mm^2 ），符号用 HBS（或 HBW，硬质合金球压头时）表示。

实际进行布氏硬度试验时，可根据试验力 F 、压头直径 D 和测得的压痕直径 d 直接由布氏硬度数值表查得硬度值。布氏硬度标注时，硬度值写在符号 HBS（或 HBW）之前，如 250 HBS。

布氏硬度试验的压痕大，测得的硬度值较准确，但操作不够简便。布氏硬度试验法主要用于检测硬度较低（ <450 HBS 或 <650 HBW）、

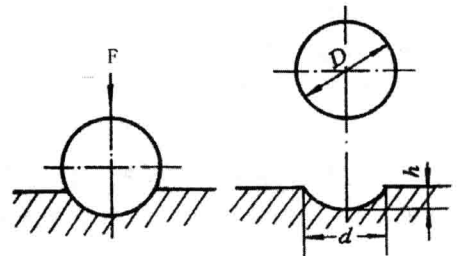


图 1.3 布氏硬度试验原理图

厚度较厚的材料和零件，如铸铁、有色金属和退火、正火或调质状态的钢。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验在洛氏硬度计上进行。洛氏硬度试验是以金刚石（或淬火钢球）为压头，在总载荷（初载荷+主载荷）作用下，将压头压入试样表面，卸除主载荷后，以测定的压痕残留深度大小来衡量试件的软硬程度。其测试原理如图 1.4 所示，图中“0-0”为压头与试样表面未接触位置；“1-1”为加初载荷后，使压头从试样表面 *a* 处压入到 *b* 处位置，并将 *b* 点作为残留压痕深度测量的起点；“2-2”为加上主载荷，使压头在总载荷作用下压入试样 *c* 处位置；“3-3”为卸除主载荷后，因试样弹性变形的恢复，压头回升到 *d* 处位置。此时，残留压痕深度 *bd* 值的大小就反映了试样软硬程度：*bd*

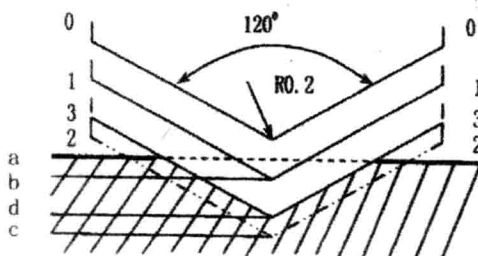


图 1.4 洛氏硬度试验原理图

值愈大，试样愈软；反之，试样愈硬。洛氏硬度规定每 0.002 mm 残留压痕深度为一个硬度单位，为适应习惯上数值愈大，硬度愈高的概念，故引进一个常数 *K*，令洛氏硬度（HR）表达为

$$HR = K - bd / 0.002$$

式中 *K*——常数（金刚石压头取 *K*=100；淬火钢球压头取 *K*=130）。

在实际测试时，硬度值可直接从硬度计表盘上读出。

为了测定不同硬度范围的材料，洛氏硬度试验按压头和试验力不同，常采用 HRA，HRB 和 HRC 三种不同的硬度标度（表 1.1）。其中以 HRC 在生产中应用最广，用以测定各种淬火钢零件和工具的硬度。洛氏硬度标注时，硬度值写在符号之前，如 60 HRC。

表 1.1 常用洛氏硬度的实验条件和应用范围

硬度符号	压头类型	总试验力/N	有效值范围	应用范围
HRA	120°金钢石圆锥体	60×9.8	70~85 HRA	硬质合金，表面淬硬层、渗碳淬硬层
HRB	1.588 mm 钢球	100×9.8	25~100 HRB	有色金属，退火、正火钢
HRC	120°金钢石圆锥体	150×9.8	20~67 RHC	淬硬钢，调质钢

洛氏硬度试验法操作迅速、简便，测量硬度范围大，压痕小，可直接测试成品零件和较硬较薄的零件。但由于压痕小，对组织和硬度不均匀的材料，硬度值波动较大，故同一试样应测试三点以上取其平均值。

3. 维氏硬度

维氏硬度试验在维氏硬度计上进行，其试验原理与布氏硬度相似，如图 1.5 所示。在试验力 *F* 作用下，将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头压入试样表面，保持一定时间后卸除试验力在试样表面留下对角线长度为 *d* 的正四棱锥压痕，以试验力 *F* 除以压痕表面积 *S* 所得的商作为维氏硬度值，符号为 HV。实际进行维氏硬度试验时，可根据试验力 *F* 和测得的对角线长度 *d* 在维氏硬度数值表上查得硬度值。维氏硬度表注时，硬度值写在符号 HV 之前，如 640 HV。

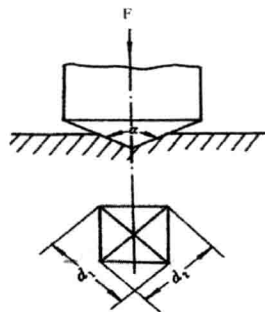


图 1.5 维氏硬度试验原理图

维氏硬度试验的测试精度较高，测试的硬度范围大，被测试样的厚度或表面深度几乎不

受限制（如能测很薄的工件、渗氮层、金属镀层等）。但是，维氏硬度试验操作不够简便，试样表面质量要求较高，故在生产现场很少使用。

不同硬度试验法测得的硬度不能直接进行比较，必须通过硬度换算表（见附录表 1）换算成同种硬度后，方能比较其高低。

4. 硬度与其他力学性能及耐磨性的关系

硬度是最常用的力学性能判据。这是由于硬度试验法简便快速，不需专门试样，不破坏被测零件，且与强度、塑性、韧性及耐磨性之间存在一定的关系。在正确热处理和具有正常组织条件下，在一定硬度范围（20~60 HRC）内，金属的硬度愈高，其抗拉强度、耐磨性愈高，塑性、韧性愈低。金属的硬度与抗拉强度之间存在如下近似关系：

$$\sigma_b = 3.5 \text{ HB (或 HV)}。$$

1.2 动载荷时材料的力学性能

生产中，许多零件和工具工作时所承受的外力并非静载荷，而是冲击力、循环力等动载荷，如冲床用的冲头、锻模的锤杆、风动工具、齿轮、连杆、弹簧等。通过静载试验测得的力学性能（强度、刚度、塑性和硬度），一般不能代表在冲击载荷和循环载荷作用下的性能。材料在动载荷作用下测得的性能，主要有冲击韧性、疲劳抗力等。

1.2.1 冲击韧性

快速作用于零件的外力称为冲击力或冲击载荷。在冲击力作用下，金属抵抗断裂的能力（即金属断裂时吸收变形功的能力），称为冲击韧性。

金属冲击韧性的判据用冲击试验法测定。冲击试验在摆锤式冲击试验机上进行，如图 1.6 所示。先将被测金属制成带 U 型（或 V 型）缺口的标准冲击试样，如图 1.7 所示，再将试样放在试验机支座的支撑面上，缺口背向摆锤冲击方向，然后将重量为 G 的摆锤举至一定高度 H_1 ，最后摆锤自由落下将试样冲断，并反向摆至一定高度 H_2 。通常，以试样在一次冲击试验力作用下冲断时所吸收的功（即冲击吸收功） A_K ，作为冲击韧性的判据，单位为 J。其计算公式为

$$A_K = G (H_1 - H_2)$$

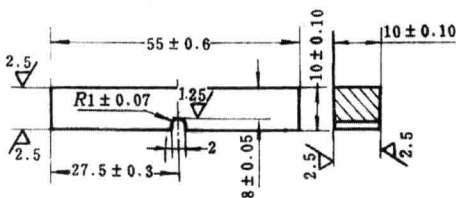
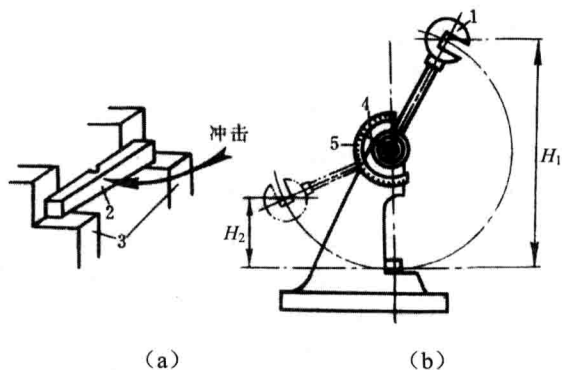


图 1.6 冲击试样（U 型缺口）



1—摆锤 2—试样 3—支座 4—指针 5—表盘

图 1.7 摆锤式冲击试验

实际试验时, A_K 值可从试验机刻度盘上直接读出。我国习惯上以冲击韧度 α_k , 单位为 J/cm^2 , 作为冲击韧性的判据。其计算公式为

$$\alpha_k = A_K / S$$

式中 S ——试样缺口处横截面积 (cm^2)。

目前, 国家标准规定采用 A_K 作为冲击韧性的判据。冲击吸收功 (A_K) 愈大, 材料的冲击韧性愈好。同一金属材料的冲击韧性还与温度有关, 如图 1.8 所示。由图可见, 材料的韧性随温度下降而减小, 在某一温度区域内急剧变化, 此温度区称为“韧脆转变温度”。韧脆转变温度愈低, 材料的低温抗冲击性能力愈好。

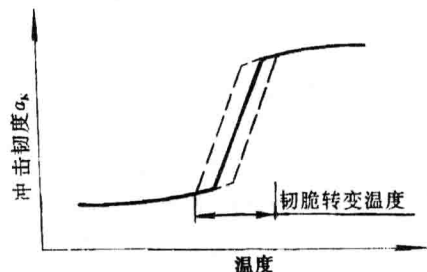


图 1.8 温度对冲击韧性的影响

冲击韧性对材料内部的缺陷和组织变化十分敏感, 且试验测定简便, 故常用于检验材料热加工和热处理的质量, 一般作为选材的参考, 而不能直接用于强度计算。

1.2.2 疲劳抗力

在循环载荷下工作的零件, 所承受的应力为大小与方向随时间作周期性变化的循环应力。常见的循环应力是对称循环应力 (最大应力和最小应力的绝对值相等), 如图 1.9 所示。在小于 σ_s 的循环应力作用下, 经若干次 ($>10^4$ 次) 应力循环而发生断裂的现象称为疲劳断裂或疲劳。

材料在循环应力作用下抵抗断裂的能力称为疲劳抗力, 其判据由疲劳试验测定的疲劳曲线 (即 $\sigma-N$ 曲线) 确定。中、低强度钢和铸铁在对称循环应力作用下的疲劳曲线如图 1.10 中曲线 1 所示, 当 σ 低于某应力值时, 疲劳曲线呈水平线, 表示材料经 10^7 次或无限次应力循环而不断裂, 因此, 将该应力值记作 σ_{-1} , 作为中、低强度钢和铸铁的疲劳抗力的判据, 称为疲劳极限; 有色金属、不锈钢和高强度钢的疲劳曲线如图 1.10 中曲线 2 所示, 因其不存在水平线部分而不能确定 σ_{-1} , 故规定以疲劳寿命 N 为 10^8 次而不断裂的循环应力 σ_N 作为疲劳抗力的判据, 称为条件疲劳极限或疲劳强度。材料的疲劳极限 σ_{-1} 或疲劳强度 σ_N 愈大, 表示其抵抗疲劳断裂的能力愈强。

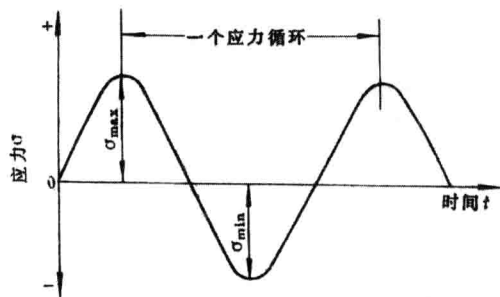


图 1.9 对称循环应力

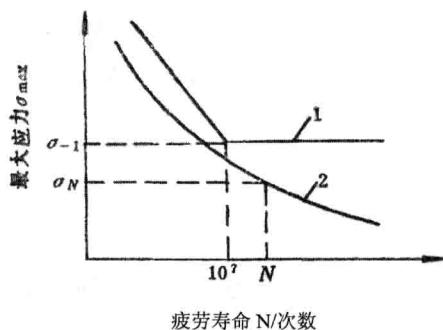


图 1.10 疲劳曲线