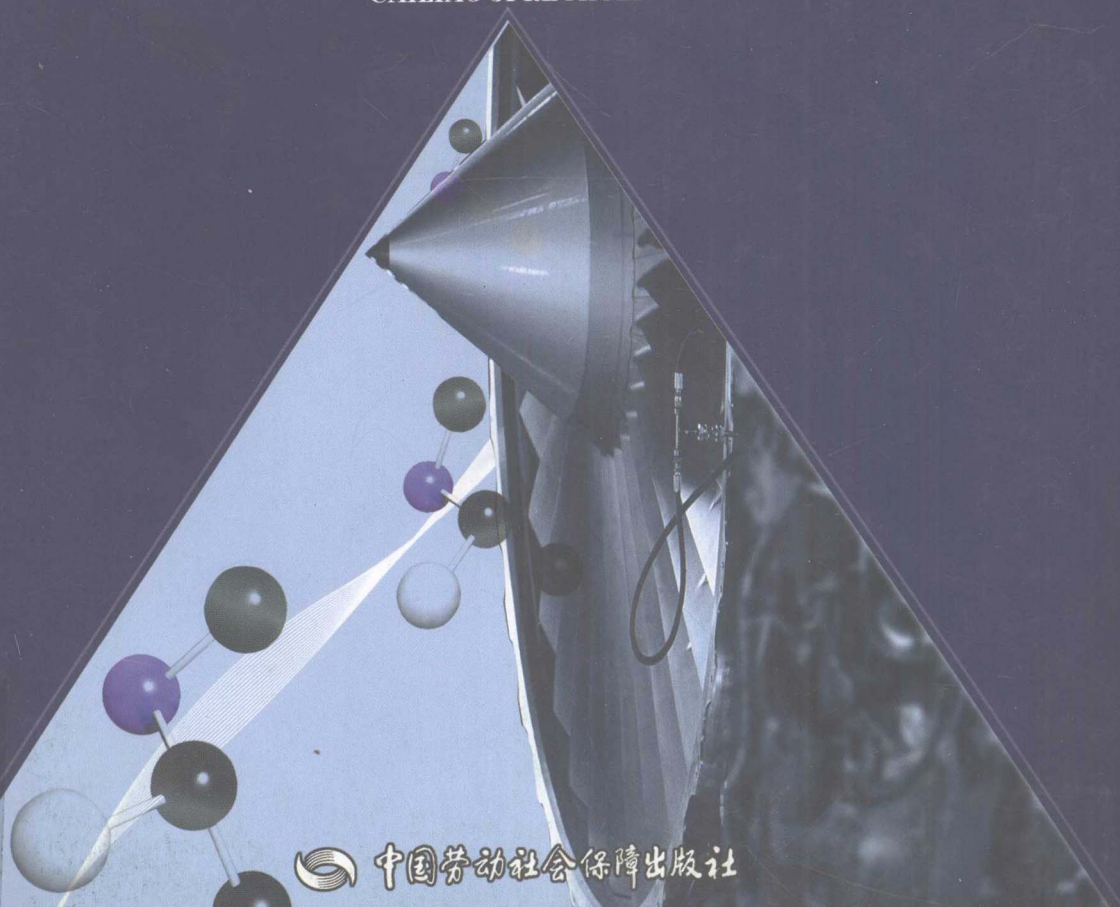


全国高等职业院校机械类专业通用教材
QUANGUO GAODENG ZHIYE JISHU YUANXIAO JIXIELEI ZHUANYE TONGYONG JIAOCAI

金属材料及热处理

JINSHU
CAILIAO JI RECHULI



中国劳动社会保障出版社

全国高等职业院校机械类专业通用教材

金属材料及热处理

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

金属材料及热处理/王戟主编. —北京: 中国劳动社会保障出版社, 2004

全国高等职业技术学院机械类专业通用教材

ISBN 7-5045-4213-X

I. 金… II. 王… III. ①金属材料-高等学校: 技术学校-教材 ②热处理-高等学校: 技术学校-教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 102910 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京印刷集团有限责任公司印刷二厂印刷 北京助学印刷厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11.5 印张 285 千字

2004 年 2 月第 1 版 2007 年 5 月第 8 次印刷

定价: 19.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前言

为贯彻落实《国务院关于大力推进职业教育改革与发展的决定》，推进高等职业技术教育更好地适应经济结构调整、科技进步和劳动力市场的需要，推动高等职业技术学院实施职业资格证书制度，加快高技能人才的培养，劳动和社会保障部教材办公室在充分调研和论证的基础上，组织编写了高等职业技术学院系列教材。从2004年起，陆续推出数控类、电工类、模具设计与制造、电子商务、电子类、烹饪类专业教材，并将根据需要不断开发新的教材，逐步建立起覆盖高等职业技术学院主要专业的教材体系。

在高等职业技术学院系列教材的编写过程中，我们始终坚持了以下几个原则：一是坚持高技能人才的培养方向，从职业（岗位）分析入手，强调教材的实用性；二是紧密结合高职院校、技师学院、高级技校的教学实际情况，同时，坚持以国家职业资格标准为依据，力求使教材内容覆盖职业技能鉴定的各项要求；三是突出教材的时代感，力求较多地引进新知识、新技术、新工艺、新方法等方面的内容，较全面地反映行业的技术发展趋势；四是打破传统的教材编写模式，树立以学生为主体的教学理念，力求教材编写有所创新，使教材易教易学，为师生所乐用。

机械类专业通用教材今年推出《机械制造工艺学》和《金属材料及热处理》，可供高职院校、技师学院、高级技校模具设计与制造、模具制造与维修、金属切削加工、数控类专业以及其他相关专业使用。根据需要，以后还将陆续推出其他通用教材。

在上述教材编写过程中，我们得到有关省市劳动和社会保障部门、教育部门，以及高等职业院校、技师学院、高级技校的大力支持，在此表示衷心的感谢。同时，我们恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2004年2月

简介

本书为全国高等职业院校机械类专业通用教材，供各类高职院校、技师学院、高级技校机械类专业使用。主要内容有：金属的性能、金属的结构与结晶、合金的结构及铁碳合金相图、碳素钢、钢的热处理、合金钢、铸铁、有色金属和机械零件选材及工艺路线分析等。

本书降低了理论难度，突出了技能训练，涵盖了国家职业标准（高级）要求的内容。也可用作职业培训教材。

本书由王戟主编，蒋敏球、张伟萍、黎巧云、刘波林参加编写；钟佩清主审。

目录

绪论	(1)
第一章 金属的性能	(2)
§ 1—1 金属和金属材料的分类	(2)
§ 1—2 金属的物理性能和化学性能	(3)
§ 1—3 金属的力学性能	(5)
复习思考题	(12)
第二章 金属的结构与结晶	(14)
§ 2—1 金属的晶体结构	(14)
§ 2—2 纯金属的结晶	(19)
§ 2—3 金属的同素异构转变	(22)
复习思考题	(23)
第三章 合金的结构及铁碳合金相图	(24)
§ 3—1 合金的结构	(24)
§ 3—2 二元合金相图	(26)
§ 3—3 铁碳合金的结构及其相图	(28)
复习思考题	(40)
第四章 碳素钢	(41)
§ 4—1 钢中杂质元素对碳素钢性能的影响	(41)
§ 4—2 碳素钢的分类	(43)
§ 4—3 常用碳素钢的牌号、性能及用途	(43)
§ 4—4 钢的火花鉴别	(48)
复习思考题	(52)
第五章 钢的热处理	(53)
§ 5—1 钢在加热时的转变	(53)
§ 5—2 钢在冷却时的转变	(55)
§ 5—3 钢的退火与正火	(59)
§ 5—4 钢的淬火	(62)

§ 5—5 钢的回火	(67)
§ 5—6 钢的表面热处理	(70)
§ 5—7 热处理新工艺简介	(78)
复习思考题	(83)
第六章 合金钢	(85)
§ 6—1 合金元素对钢的组织 and 性能的影响	(85)
§ 6—2 合金钢的分类及牌号	(87)
§ 6—3 合金结构钢	(88)
§ 6—4 合金工具钢	(94)
§ 6—5 特殊性能钢	(103)
复习思考题	(109)
第七章 铸铁	(110)
§ 7—1 铸铁概述	(110)
§ 7—2 灰铸铁	(111)
§ 7—3 可锻铸铁	(114)
§ 7—4 球墨铸铁	(116)
§ 7—5 蠕墨铸铁	(118)
§ 7—6 特殊性能铸铁	(119)
复习思考题	(121)
第八章 有色金属	(122)
§ 8—1 铝及铝合金	(122)
§ 8—2 铜及铜合金	(127)
§ 8—3 轴承合金	(133)
§ 8—4 硬质合金	(135)
复习思考题	(137)
第九章 机械零件选材及工艺路线分析	(139)
§ 9—1 选材的一般原则	(139)
§ 9—2 热处理技术条件的标注	(141)
§ 9—3 冷加工方面减小变形、防止开裂的措施	(145)
§ 9—4 热处理与切削加工性的关系	(152)
§ 9—5 典型零件材料及热处理选择实例	(153)
复习思考题	(163)
实验	(164)

实验一	硬度测量	(164)
实验二	铁碳合金的平衡组织观察	(166)
实验三	钢的热处理	(167)
实验四	钢铁材料的火花鉴别	(170)
附录		(172)
附录 1	国内外部分钢号对照	(172)
附录 2	压痕直径与布氏硬度对照表	(174)
附录 3	黑色金属硬度及强度换算表	(175)
附录 4	常用钢的临界点	(176)

绪 论

一、金属材料及其热处理在现代科学技术中的作用和地位

金属材料在现代工农业生产中占有极其重要的地位。不仅在机械制造、交通运输、国防与科学技术等部门需要使用大量的金属材料，人们的日常生活用品中也离不开金属材料。金属材料的种类繁多，工程上常用的金属材料包括钢铁、有色金属及其合金、粉末冶金材料等。20 世纪四项重大发现，即原子能、半导体、计算机、激光器的发展和应用，带动了高度信息的工业自动化，其中钢铁材料、有色金属材料以及非晶、微晶、纳米材料、陶瓷、高分子材料及人工合成材料等为其提供了重要的物质保障。可以说金属材料已成为人类赖以生存和发展的物质基础。

随着机械工业朝高速、自动、精密、智能方向迅速发展，在机械产品的设计和制造过程中，所遇到的金属材料及热处理方面的问题日益增多，机械工业与金属材料及热处理学科之间的关系愈加密切。热处理实际上是通过改变组织或改变表面成分而使金属材料性能发生变化的一种加工工艺。金属材料及热处理这门学科的基本任务就在于建立材料的成分、内部组织、热处理工艺与性能之间的关系，找出其内在规律，以便通过控制金属材料的成分和冷、热加工工艺过程来控制其组织，提高材料性能，或获得具有某种特殊性能的新材料。实践表明，合理选用金属材料，确定适当热处理工艺，妥善安排工艺路线对充分发挥金属材料本身的性能潜力，提高产品零件的质量，节省金属材料，降低生产成本等方面有着重大的影响。

二、本课程的主要内容及基本要求

本课程的内容主要由金属的性能、金属学、热处理、金属材料几部分组成。基于培养高级技工人才的需要，还对机械零件的选材及工艺路线的分析、典型零件热处理分析、热处理新工艺等方面作了适当的介绍。另外，由于模具材料在现代工业中的应用越来越广泛，本书还重点介绍了模具材料及其热处理内容。

本课程的基本要求如下：

1. 在金属性能方面 掌握金属材料在外力作用下所表现出来的力学性能；了解材料在各种加工或使用条件下所表现出来的工艺性能、物理性能和化学性能。

2. 在金属学方面 了解金属和合金的组织结构、结晶过程以及二元合金相图、铁碳合金及其相图的基本理论，为进一步学习热处理和金属材料打下基础。

3. 在热处理方面 了解钢铁材料热处理的基本原理和工艺以及热处理工艺在零件加工过程中的作用和地位，以便能根据零件的技术条件选定热处理工艺方法，合理安排工艺路线。

4. 在金属材料方面 掌握常用的碳素钢、合金钢、铸铁、有色金属等材料的成分、组织、性能和用途的基本知识，以便能合理选用金属材料并确定其工艺路线。

在机械制造中，大多数的零件都是由各种金属材料制成的。随着零件的工作条件和加工方法的不同，必然会对金属材料提出各种不同的性能要求。例如，弹簧需要材料具有良好的弹性；刀具要求材料硬且耐磨；飞机零件要求材料强度高，质量轻；制造容器的材料要求良好的焊接性能和压延性能等。为了合理地使用和加工金属材料以及充分发挥其性能潜力，必须充分了解和掌握金属材料的基本性能。金属材料的性能一般分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料制成零件或构件后，为保证其正常工作和一定的工作寿命所必须具备的性能，它包括物理、化学和力学性能等；工艺性能是指材料在冷、热加工过程中，为保证加工过程的顺利进行，材料所必须具备的性能，它包括铸造、锻压、焊接、热处理和切削性能等。

§ 1—1 金属和金属材料的分类

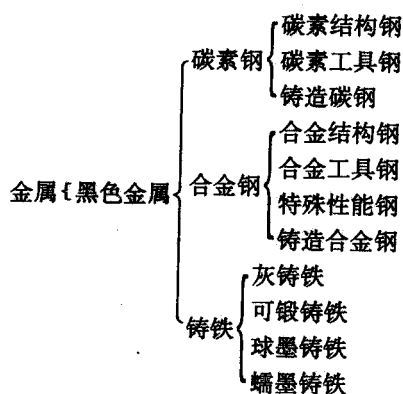
金属是指具有良好的导电性和导热性，有一定的强度和塑性，并具有表面光泽的物质，如铁、铝和铜等。金属材料是由金属元素或以金属元素为主要材料组成的、并具有金属特性的工程材料，包括纯金属和合金。

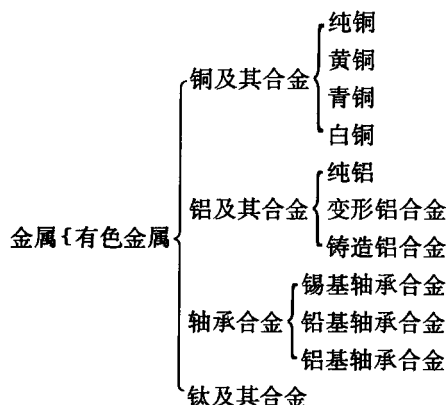
金属材料一般按其化学性质分为黑色金属和有色金属两大类：

(1) 黑色金属 以铁或以铁为主而形成的物质，称为黑色金属。它包括碳素钢、合金钢和铸铁等。

(2) 有色金属 除黑色金属以外的其他金属，称为有色金属。按照它们的特性不同，又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等。

在机械制造工业中，常用的金属材料如下所示：





§ 1—2 金属的物理性能和化学性能

一、物理性能

金属材料在各种物理条件作用下所表现出的性能称为物理性能。它包括密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性和磁性等。

常用金属的物理性能见表 1—1。

表 1—1 常用金属材料的物理性能

金属名称	符号	密度 (20℃) /kg/m ³	熔点 /℃	热导率 λ /W/m·K	线胀系数 α_1 /10 ⁻⁶ /℃ (0~100℃)	电阻率 ρ /10 ⁻⁶ Ω·cm
银	Ag	10.49 × 10 ³	960.8	418.6	19.7	1.5
铜	Cu	8.96 × 10 ³	1 083	393.5	17	1.67 ~ 1.68 (20℃)
铝	Al	2.7 × 10 ³	660	221.9	23.6	2.655
镁	Mg	1.74 × 10 ³	650	153.7	24.3	4.47
钨	W	19.3 × 10 ³	3 380	166.2	4.6 (20℃)	5.1
镍	Ni	4.5 × 10 ³	1 453	92.1	13.4	6.84
铁	Fe	7.87 × 10 ³	1 538	75.4	11.76	9.7
锡	Sn	7.3 × 10 ³	231.9	62.8	2.3	11.5
铬	Cr	7.19 × 10 ³	1 903	67	6.2	12.9
钛	Ti	4.508 × 10 ³	1 677	15.1	8.2	42.1 ~ 47.8
锰	Mn	7.43 × 10 ³	1 244	4.98 (-192℃)	37	185 (20℃)

1. 密度

物质单位体积的质量称为该物质的密度，用符号 ρ 表示。

密度是金属材料的一个重要物理性能，不同材料的密度不同。体积相同的不同金属，密度越大，其质量也越大。在机械制造中，金属材料的密度与零件自重和效能有直接关系，因此，通常作为零件选材的依据之一。如强度 σ_b 与密度 ρ 之比称为比强度，弹性模量 E 与密

度 ρ 之比称为比弹性模量，它们都是零件选材的重要指标。此外，还可以通过测量金属材料的密度来鉴别材料的材质。

常用金属的密度参见表 1—1，工程上通常将密度小于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为轻金属，密度大于 $5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 的金属称为重金属。

2. 熔点

金属从固态转变为液态的最低温度，即材料的熔化温度称为熔点。

每种金属都有其固定的熔点，常见金属的熔点参见表 1—1。熔点是金属和合金冶炼、铸造、焊接过程中的重要工艺参数。一般来说，金属的熔点低，冶炼、铸造和焊接都易于进行。工业上常用的防火安全阀及熔断器等零件，需使用低熔点的易熔金属，而工业高温炉、火箭、导弹、燃气轮机和喷气飞机等的某些零部件，却必须用耐高温的难熔金属。

3. 导热性

金属材料传导热量的性能称为导热性，常用热导率 λ 来表示，常见金属的热导率参见表 1—1。一般来说金属及合金的导热性远高于非金属。

金属材料的热导率越大，说明导热性越好。金属中银的导热性最好，铜、铝次之。金属的导热性对焊接、锻造和热处理等工艺有很大影响。导热性好的金属，在加热和冷却过程中不会产生过大的内应力，可防止工件变形和开裂。此外，导热性好的金属散热性也好，因此，散热器和热交换器等传热设备的零部件，常选用导热性好的铜、铝等金属材料来制造。导热性差的材料则可用来制造绝热材料。

4. 导电性

金属材料传导电流的性能称为导电性，以电导率表示，但常用其倒数——电阻率 ρ 表示。金属材料的电阻率越小，导电性越好。

通常金属的电阻率随温度的升高而增加。相反，非金属材料的电阻率随温度的升高而降低。金属及其合金具有良好的导电性能，银的导电性能最好，铜、铝次之，故工业上常用铜、铝及其合金作导电材料。而导电性差的金属如康铜、钨等可制造电热元件。

5. 热膨胀性

金属材料在受热时体积增大，冷却时体积缩小的性能称为热膨胀性。热膨胀性的大小常用线膨胀系数 α_l 来表示。常见金属线膨胀系数参见表 1—1。体胀系数近似为线胀系数的 3 倍。

热膨胀性是金属材料的又一重要性能，在选材、加工、装配时经常需要考虑该项性能。如轴与轴瓦之间要根据零件材料的线胀系数来确定其配合间隙；精密量具应采用线胀系数较小的材料制造；工件尺寸的测量要考虑热膨胀因素的影响，以减小测量误差等。

6. 磁性

金属材料能导磁的性能称为磁性。不同的金属材料，其导磁性能不同。常用金属材料中，铁、镍、钴等具有较高磁性，称为磁性金属；铜、铝、锌等没有磁性，称为抗磁金属。但金属材料的磁性也不是永远不变的，当温度升高到一定程度时，金属的磁性会减弱或消失。

一般磁性材料分软磁材料和永磁材料：软磁材料易磁化、导磁性良好，但外磁场去除后，磁性基本消失，如电工纯铁、硅钢片等；永磁材料经磁化后能保持磁场，磁性不易消失，如铝镍钴系和稀土钴等。

二、化学性能

金属的化学性能是指其在室温或高温下抵抗外界介质化学侵蚀的能力，包括耐腐蚀性和抗氧化性等。

1. 耐腐蚀性

多数金属材料会与其周围的介质发生化学作用而使其表面被破坏，如钢铁的生锈，铜会产生铜绿等，这种现象称作锈蚀或腐蚀。金属的耐腐蚀性就是指它在常温下抵抗大气、水蒸气、酸及碱等介质腐蚀的能力。非金属材料的耐腐蚀性远远高于金属材料。提高材料的耐腐蚀性，对于节省材料和延长构件使用寿命具有现实的经济意义。

2. 抗氧化性

金属材料在高温下容易被周围环境中的氧气氧化而遭破坏，金属材料在高温下抵抗氧化作用的能力称为抗氧化性。

在高温环境中工作的设备（如锅炉、汽轮机、汽车发动机等）上的一些零件极易因氧化而失去使用性能，所以，对长期在高温下工作的零件，应采用抗氧化性好的材料来制造。

一般金属材料的耐腐蚀性和抗氧化性都不是很好，为了满足化学性能的要求，必须使用特殊的合金钢或某些有色金属。

§ 1—3 金属的力学性能

金属的力学性能是指金属材料抵抗各种外加载荷的能力，其中包括弹性和刚度、强度、塑性、硬度、冲击韧度、断裂韧度及疲劳强度等，它们是衡量材料性能极其重要的指标。

一、弹性和刚度

材料在外力的作用下会或多或少地产生变形，当所受外力去除后能恢复其原来形状的性能，称为弹性。这种随着外力去除而消失的变形称为弹性变形，其大小与外力成正比。材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。弹性和刚度是在特定的标准试验条件下得到的。

将被测试的金属材料制成如图 1—1 所示的标准试样（参见 GB228—87《金属拉伸试样》）。在材料拉伸试验机上对标准试样进行拉伸试验，可得到拉力 F 与伸长量 Δl 的关系图，即拉伸图。它反映了金属材料在拉伸过程中从弹性变形直到断裂的全部力学特性。图 1—2 是普通低碳钢的拉伸图。 Oe 段即为弹性变形阶段， e 点所对应的应力 σ_e 称为弹性极限。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{S_0}$$

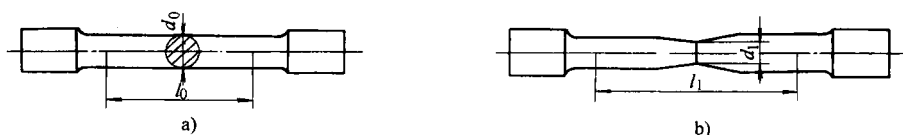


图 1—1 圆形拉伸试样

a) 拉伸前 b) 拉伸后

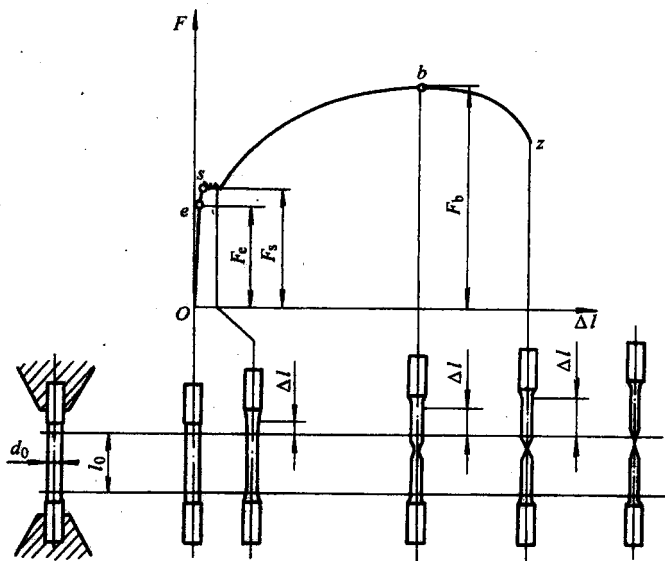


图 1—2 普通低碳钢的力—伸长曲线

式中 σ_e ——弹性极限, MPa;

F_e ——产生弹性变形所受的最大外力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

材料在弹性范围内, 应力 σ (试样单位横截面上的拉力) 与应变 ϵ (试样单位长度的伸长量) 的比值 E 称为弹性模量, 即 $E = \frac{\sigma}{\epsilon}$ 。

弹性模量 E 相当于引起单位弹性变形时所需要的应力, 金属材料的刚度常用它来衡量。弹性模量愈大, 则表示在一定应力作用下能发生的弹性变形愈小, 也就是材料的刚度愈大。弹性模量的大小仅取决于金属材料本身, 即和原子的结合力有关, 一些处理方法 (如热处理、冷热加工、合金化等) 对它的影响很小。因此, 同一类材料中弹性模量的差别不大, 例如, 钢和铸铁的弹性模量值分别是 204 000 MPa 和 214 200 MPa, 可认为基本一样。零件的刚度大小还取决于零件的几何形状。

二、强度

材料在外力作用下抵抗变形与断裂的能力称为强度。根据外力作用方式的不同, 强度有多种指标, 如抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等。通常多以抗拉强度为代表对材料进行分析。

在图 1—2 中, 当外力大小超过 F_e 时, 外力卸载后试样的伸长只能部分恢复。这种不随外力去除而消失的变形称为塑性变形。当外力大小增加到 F_s 时, 图上出现了平台。这种外力不增加而试样继续发生变形的现象称为屈服。材料开始产生屈服时的最低应力 σ_s 称为屈服点, 即:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{S_0}$$

式中 σ_s ——屈服点, MPa;

F_s ——试样开始屈服时所受的外力, N。

工程上使用的材料多数没有明显的屈服现象，因此，国标规定这类材料的屈服点为试样的塑性变形量达到试样标距的 0.2% 时材料所承受的应力值，并以符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。它是 $F_{0.2}$ 与试样原始截面积 S_0 之比，如图 1—3 所示。

材料发生屈服后，当载荷外力继续增加到图 1—2 中的 F_b 点时，试样发生不均匀变形，截面出现局部变细缩颈现象，当变形迅速增大至 z 点时试样被拉断。 b 点的拉力是试样在拉断前所能承受的最大载荷，其所对应的应力 σ_b 为抗拉强度，它是零件设计和材料评定时的一个重要强度指标。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{S_0}$$

式中 σ_b ——抗拉强度，MPa；

F_b ——试样在断裂前所承受的最大外力，N。

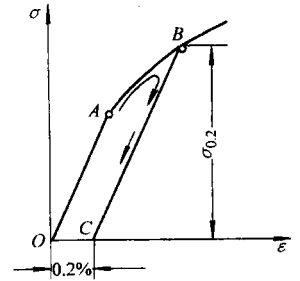


图 1—3 $\sigma_{0.2}$ 的确定

屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 是金属材料的两个重要的指标，也是零件设计的重要依据。因为零件不能在强度超过 σ_s 的条件下工作，否则会引起机件的塑性变形；零件更不能在强度超过 σ_b 的条件下工作，否则会导致机件的破坏。在大多数情况下，机件是不允许产生塑性变形的，如齿轮、连杆、轴等零件，一旦发生塑性变形就会失去原有的精度甚至报废。

三、塑性

材料在外力的作用下，产生永久变形而不破坏的性能称为塑性。伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 是拉伸条件下，衡量金属塑性变形能力的性能指标。

$$\delta = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100\%$$

$$\psi = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \times 100\%$$

式中 δ ——伸长率，%；

ψ ——断面收缩率，%；

L_0 ——试样的初始长度，mm；

L_1 ——试样拉断后的长度，mm；

S_0 ——试样初始截面积，mm²；

S_1 ——试样断裂后断口最小的截面积，mm²。

必须说明，同一材料的试样长短不同，测得的伸长率是不同的。长、短试样的伸长率分别用符号 δ_{10} 和 δ_5 表示，习惯上 δ_{10} 也常写成 δ 。

材料的塑性指标在工程技术中具有重要的实际意义。 δ 和 ψ 愈高，材料的塑性愈好。塑性好的金属可以发生大量的塑性变形而不被破坏。许多零件在成形过程中要求材料有较好的塑性。例如，汽车外壳、柴油机油箱及家用电器的外壳等，一般都是利用金属的塑性变形而加工成形的。工业纯铁的 δ 可达 50%， ψ 可达 80%，可以拉制细丝、轧制薄板等。铸铁的 δ 几乎为零，所以，不能进行塑性变形加工。良好的塑性使零件在使用时超载，也能由于塑性变形使材料强度提高而避免断裂，故在静载荷下使用的机械零件都要求有一定的塑性。一般来说， $\delta = 5\%$ ， $\psi = 10\%$ 就能满足大多数零件对于塑性的要求了。

四、硬度

硬度是材料抵抗更硬物体压入其表面的能力，也可以说是抵抗局部变形，特别是塑性变形、压痕或划痕的能力。它是材料的重要性能之一，与其他强度指标（如 σ_s 、 σ_b ）和塑性指标（如 δ 、 ψ ）之间有着内在联系。硬度值（例如，布氏硬度 HBS）可以间接反映金属强度及金属在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异等。如低碳钢： σ_b （MPa） $\approx$ 0.36 HBS；高碳钢： σ_b （MPa） $\approx$ 0.34 HBS；调质钢： σ_b （MPa） $\approx$ 0.325 HBS。

通常，材料越硬，其耐磨性越好。机械制造业所用的刀具、量具、模具等，都应具备足够的硬度，才能保证使用性能和寿命。有些机械零件如齿轮等，也要求有一定的硬度，以保证足够的耐磨性和使用寿命。

硬度试验方法比较简单、迅速，可直接在原材料或零件表面上测试，因此被广泛应用。常用的硬度测量方法是压入法，主要有布氏硬度（HB）、洛氏硬度（HR）和维氏硬度（HV）等。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验原理如图 1—4 所示。即用直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球，以规定的压力压入被测试样表面，保持规定时间后去除外力，在试样表面留下球形压痕。布氏硬度值用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示。在试验中，硬度值不需计算，是用刻度放大镜测出压痕直径 d ，然后对照有关硬度表（参见附录 2）查出相应的布氏硬度值。一般来说，材料愈软，其压痕直径愈大，布氏硬度值也就愈低。反之，布氏硬度值就愈高。布氏硬度常用符号 HB 表示。具体试验规范见表 1—2。

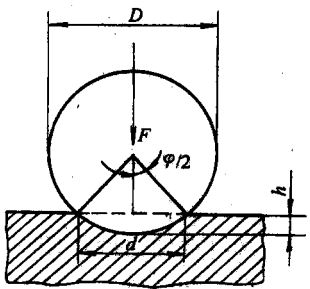


图 1—4 布氏硬度试验原理示意图

表 1—2 常用布氏硬度试验规范

材料	硬度 HBS	试样厚度 /mm	F/D^2	钢球直径 D /mm	载荷 F /N	载荷保持时间 t/s
黑色金属（如钢的退火、正火、调质状态）	145~450	6~3	30	10	30 000	10
		4~2		5	7 500	
		<2		2.5	1 875	
黑色金属	<140	>6	10	10	10 000	10
		6~3		5	2 500	
		<3		2.5	625	
有色金属及合金（如铜、黄铜、青铜、镁合金）	36~130	>6	10	10	10 000	30
		6~3		5	2 500	
		<3		2.5	625	
有色金属及合金（如铝、轴承合金）	8~35	>6	2.5	10	2 500	60
		6~3		5	625	
		<3		2.5	156	

布氏硬度的优点是具有较高的测量精度，其压痕面积大，能比较真实地反映出材料的平均性能，但它不能测定高硬度的材料。一般来说，淬火钢球用以测定布氏硬度值 $HB < 450$

的金属材料，如灰铸铁、有色金属及经退火、正火和调质处理的钢材，布氏硬度值以 HBS 表示。布氏硬度在 450 ~ 650 之间的材料，压头用硬质合金球，其硬度值用 HBW 表示。

2. 洛氏硬度

试验原理如图 1—5 所示。它是以直径为 1.588 mm 的淬火钢球或顶角为 120°的金刚石圆锥压入试样表面后留下的深度来确定材料的硬度值，即洛氏硬度，用 HR 表示。材料的压痕深度愈浅，其洛氏硬度愈高。反之，洛氏硬度愈低。

$$HR = 100 - \frac{h_1}{0.002}$$

式中 h_1 ——去掉载荷后的压痕深度，mm。

为了能用一种硬度计测定较大范围的硬度，常用的洛氏硬度有三种：HRA，HRB 和 HRC，其中以 HRC 应用最广。洛氏硬度测试规范见表 1—3。

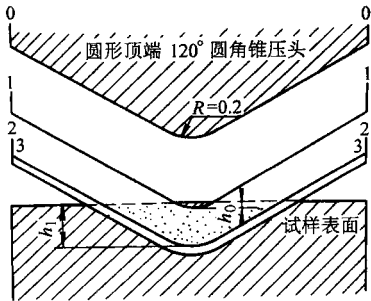


图 1—5 洛氏硬度试验原理示意图

表 1—3 洛氏硬度测试规范

标度	压 头	预载荷/N	总载荷/N ₁	应用范围	适用的材料
HRA	120°金刚石圆锥	98.07	60×9.807	70 ~ 85	硬质合金、表面淬火钢等
HRB	φ1.588 mm 钢球	98.07	100×9.807	25 ~ 100	软钢、退火钢、铜合金等
HRC	120°金刚石圆锥	98.07	150×9.807	20 ~ 67	淬火钢、调质钢等

洛氏硬度试验的优点是操作迅速、简便，可由表盘上直接读出硬度值。由于其压痕小，故可测量较薄工件的硬度。其缺点是精度较差，硬度值波动较大，通常应在试样不同部位测量数次，取平均值为该材料的硬度值。

3. 维氏硬度

布氏硬度不适用检测较高硬度的材料，洛氏硬度虽可检测不同硬度的材料，但不同标尺的硬度值不能相互直接比较。而维氏硬度就可一标尺来测定从极软到极硬的材料。

维氏硬度试验原理与布氏法相似，也是根据压痕单位表面积所承受压力的大小来计算硬度值的。它是用顶角为 136°的金刚石正四棱锥体，在一定压力作用下，在试样试验面上压出一个正方形压痕，如图 1—6 所示。通过设在维氏硬度计上的显微镜来测量压痕两条对角线的长度，根据对角线的平均长度，从相应表中查出维氏硬度值。维氏硬度常用符号 HV 表示。

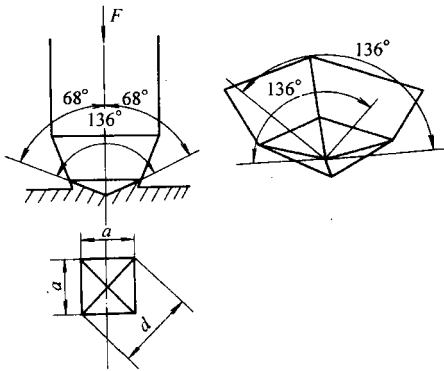


图 1—6 维氏硬度试验原理示意图

维氏硬度可测定极软到极硬的各种材料。由于所加压力小，压入深度较浅，故可测定零件各种表面渗层如硬化层、金属镀层和薄片金属的硬度等，且准确度高。但维氏硬度试验时需测量压痕对角线长度，测量手续较繁，不如洛氏硬度试验那样简单、迅速。