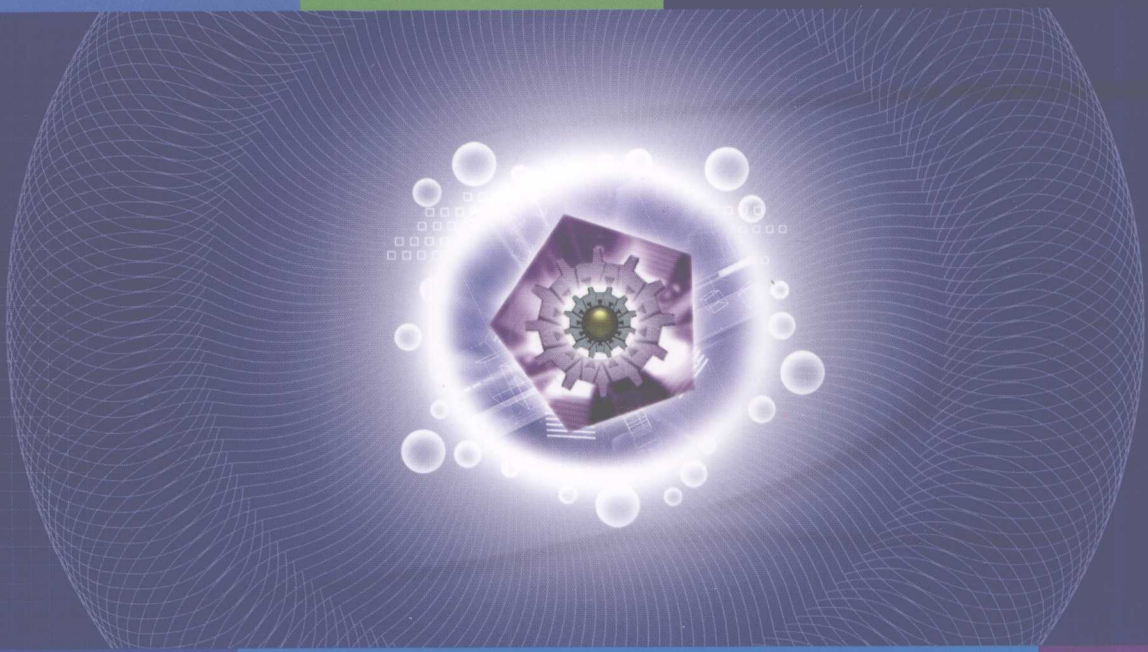




21世纪高职高专规划教材·机电类

机械工程材料及热处理

主 编 程 芳 杜 伟



北京理工大学出版社

BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本书根据教育部制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》，并参考教育部审定批准的《高等学校工程专科机械工程材料教学基本要求》编写。全书共分八章，主要为：金属材料的性能、金属学的基本知识、金属热处理的基本知识、金属材料、高分子材料、陶瓷材料、复合材料以及机械制造中零件材料的选择等内容。

本书可作为高等学校工程专科和高等职业技术学校机械类专业的通用教材，也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院、民办高校的教材及有关专业技术人员的参考书。

版权专有 侵权必究

图书在版编目 (CIP) 数据

机械工程材料及热处理/程芳, 杜伟主编. —北京: 北京理工大学出版社, 2008.7

21 世纪高职高专规划教材·机电类

ISBN 978 - 7 - 5640 - 1552 - 7

I. 机… II. ①程…②杜… III. ①机械制造材料 - 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. TH14 TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 091036 号

出版发行 / 北京理工大学出版社

社 址 / 北京市海淀区中关村南大街 5 号

邮 编 / 100081

电 话 / (010) 68914775 (办公室) 68944990 (批销中心) 68911084 (读者服务部)

网 址 / <http://www.bitpress.com.cn>

经 销 / 全国各地新华书店

印 刷 / 北京国马印刷厂

开 本 / 787 毫米 × 960 毫米 1/16

印 张 / 15.75

字 数 / 326 千字

版 次 / 2008 年 7 月第 1 版 2008 年 7 月第 1 次印刷

印 数 / 1 ~ 4000 册

定 价 / 29.00 元

责任校对 / 陈玉梅

责任印制 / 李绍英

图书出现印装质量问题, 本社负责调换

前 言

本教材根据教育部组织制定的《高职高专教育基础课程教学基本要求》和《高职高专教育专业人才培养目标及规格》，并参考教育部审定批准的《高等学校工程专科机械工程材料教学基本要求》（机械类专业）要求编写。

本教材在编写过程中，认真总结和充分吸取了各校近年来的教学改革经验与成果，力求体现基础理论，以必需、够用为度，以掌握基本概念，强化应用为教学重点的原则，做到深入浅出、通俗易懂，使教材清晰、形象，易于自学；努力适应高职高专教学需要，体现高职高专的基本特色。全书名词、术语、材料的牌号均采用了最新国家标准，使用了法定计量单位；每章附有复习思考题，可结合具体情况选择，以利于学生掌握基本概念，巩固所学知识，培养分析问题、解决问题的能力。

全书共分八章，内容主要包括：金属材料的性能；金属学的基本知识；金属热处理的基本原理和常用方法；常用的金属材料、非金属材料 and 复合材料以及机械制造中零件材料的选择等。本书是高等工程专科学校和高等职业技术学校机械类专业的教材，也可作为成人高校、本科院校举办的二级职业技术学院、民办高校的教材及有关专业技术人员的参考书。

本书由河南机电高等专科学校程芳、杜伟副教授主编，王学让教授主审。程芳编写绪论、第一章、第三章；杜伟编写第四章、第五章；苏光编写第二章、附录；邓想编写第六章、第七章；广州工贸职业技术学院徐少红编写第八章。

本书在编写过程中参考了一些兄弟院校编写的教材和有关资料，并得到了有关单位和领导的支持与帮助，在此谨向关心、支持和帮助本教材编写工作的同志们表示衷心的感谢。

尽管我们在编写时已尽了最大努力，但由于水平有限，对于书中存在的缺点和错误，恳请同行和读者批评指正。

编 者

目 录

绪论	1
第1章 金属材料的性能	4
1.1 金属材料的力学性能	4
1.2 金属材料的其他性能	14
复习思考题	14
第2章 金属学的基本知识	16
2.1 金属与合金的晶体结构	16
2.2 金属与合金的结晶	22
2.3 铁碳合金相图	35
复习思考题	55
第3章 钢的热处理	57
3.1 钢在加热时的组织转变	58
3.2 钢在冷却时的组织转变	61
3.3 钢的普通热处理	70
3.4 钢的表面热处理	81
3.5 影响热处理件的质量因素	87
3.6 热处理技术条件与工序位置	90
复习思考题	91
第4章 合金钢	95
4.1 合金元素在钢中的作用	95
4.2 合金结构钢	102
4.3 合金工具钢	121
4.4 特殊性能钢	133
复习思考题	146
第5章 铸铁	149
5.1 铸铁的石墨化	150
5.2 常用的灰铸铁	152

5.3 球墨铸铁	158
5.4 可锻铸铁	163
5.5 蠕墨铸铁	165
5.6 合金铸铁	166
复习思考题	167
第6章 有色金属及粉末冶金材料	169
6.1 铝及铝合金	169
6.2 铜及铜合金	178
6.3 滑动轴承合金	183
6.4 粉末冶金材料	187
复习思考题	190
第7章 高分子材料、陶瓷材料及复合材料	192
7.1 高分子材料	192
7.2 陶瓷材料	201
7.3 复合材料	202
复习思考题	205
第8章 机械制造中零件材料的选择与应用	206
8.1 机械零件的失效	206
8.2 机械零件的材料选择	208
8.3 典型零件与工具的选材实例分析	214
复习思考题	222
附录	223
附录 I 布氏硬度换算表	223
附录 II 黑色金属硬度及强度换算表	229
附录 III 常用结构钢退火及正火工艺规范	234
附录 IV 常用工具钢退火及正火工艺规范	235
附录 V 常用钢种回火温度与硬度对照表	236
附录 VI 国内外常用钢钢号对照表	238
附录 VII 低合金高强度结构钢新旧标准牌号对照表 (参考)	242
参考文献	243
.....
.....
.....
.....
.....

绪 论

一、材料的分类

材料是人类生活和从事生产的物质基础，是衡量人类社会文明程度及劳动力发展水平的重要标志。因此，历史学家常以石器时代、青铜器时代、铁器时代来划分历史发展的各个阶段，而今天人类正处在人工合成材料的新时代。目前，材料、能源、信息已成为发展现代化社会生产的三大支柱，而材料又是能源与信息发展的物质基础；材料的品种、数量和质量又是衡量一个国家科学技术和国民经济水平及国防力量的重要标志。

现代材料种类繁多，据粗略统计，目前世界上的材料总和已达到 40 多万种，且每年以大约 5% 的速率增加。在这些材料中，用于机械制造的各种材料称为工程材料。机械工程材料按化学组成可分为金属材料、非金属材料 and 复合材料三大类。

金属材料是机械工业生产中应用最广、也是最重要的机械工程材料，主要包括以铁为基的合金（俗称黑色金属），如钢、铸铁和铁合金等；有色金属材料，如铜及其合金、铝及其合金等。金属材料不仅来源丰富，而且还具有优良的使用性能和工艺性能；还可通过不同的成分配制、不同的加工和热处理来改变组织和性能，从而进一步扩大其使用范围。

在机械制造中常用的非金属材料主要是高分子材料和陶瓷材料。这些材料具有金属材料所不具备的某些特性，如高分子材料的耐腐蚀性、电绝缘性、隔音、减振、质量轻、原料来源丰富、价廉以及成型加工容易；由于陶瓷材料具有高熔点、高硬度、耐高温以及特殊的物理性能等，在工业生产中代替部分金属材料，已经成为一种重要的、独立的新型工程材料。近年来非金属材料发展很快，其中以人工合成高分子材料的发展最为迅速。

复合材料是近年来人们为集中各类材料的优异性于一体，充分发挥各类材料的潜力而制成的一类新型材料。这类材料具有高的比强度和比弹性模量、良好的抗疲劳性、减振性和耐高温性以及密度小、隔音、隔热、减振、阻燃等优良的物理性能和力学性能，已被广泛用于航空、建筑、机械、交通运输以及国防工业等部门。复合材料是一种很有发展前途的材料。

随着国民经济的高速发展，机械工程材料的使用量愈来愈大。在机械产品的设计和制造过程中，所遇到的有关机械工程材料的选用和热处理方面的问题日益增多。实践证明，生产中往往由于选材不当或热处理不妥，会使机械零件的使用性能达不到规定的技术要求，从而导致零件在使用过程中发生过量变形、磨损或断裂等早期失效。所以，在生产中合理选用工程材料和热处理方法，正确制定工艺路线，在充分发挥工程材料的性能潜力，保证材料具有

良好的加工性能,获得理想的使用性能,提高产品质量,节约材料,降低成本等方面都起着重大的作用。

二、材料科学的形成

材料科学是在生产实践中发展起来的,我们的祖先对材料的发展做出了杰出的贡献。早在4 000年以前,我国就已开始使用天然存在的纯铜,在殷、商时代,我国的青铜冶炼与铸造技术便已发展到了较高的水平;到春秋、战国时期,在《周礼·考工记》中,我国人民认识并总结了青铜的成分、性能和用途之间的关系与规律,描述出来的“六齐”规律,这是世界上最早的关于金属材料合金化工艺的总结;到了汉代,我国“先炼铁后炼钢”的技术已居世界领先地位;从西汉到明朝,我国的冶铁、炼钢、铸钟、锻铁、淬火等各种金属加工方法以及钢铁材料的应用都已达到了相当高的水平。所有这些在西汉司马迁的《史记·天官书》、东汉班固的《汉书·王褒传》、明代宋应星的《天工开物》等科学史书中作了详细的记载与论述。

历史证明,我们勤劳智慧的祖先,在材料的发展史上有过辉煌的成就,对人类的文明做出了巨大的贡献。但长期以来,人们对材料的认识仅是表面的,没有上升到“知其所以然”的理性认识水平。直到1863年光学显微镜第一次被用于研究金属,出现了“金相学”后,才使人们对材料的认识进入了微观领域,并上升到理性水平。1912年采用X射线衍射技术研究材料的晶体微观结构,1932年电子显微镜的问世以及后来出现的各种谱仪等先进分析工具,将已有的人类对材料微观世界的认识带入了更深的层次。另外,一些与材料有关的基础学科(如化学、物理化学、高分子化学、量子力学、固体物理等)的进展,又有力地推动了材料研究的深化。在此基础上,逐步形成了跨越多学科的材料科学。材料科学是研究材料的化学组成和微观结构与材料性能之间关系的一门科学,同时,它还研究制取材料和使用材料的有关知识。

在当今世界范围内,高新材料技术是高科技发展的一个关键领域,起着先导和基础的作用,常被视为高技术发展的突破口。目前我国对材料的研究、开发也放在了重要位置,随着神舟5号、神舟6号及嫦娥1号卫星的成功发射,标志着我国空间发射技术和卫星回收技术发展到了一个新的阶段,如果没有相应水平的材料科学与工程技术的支撑也是根本不可能的。机械工程材料是材料科学的一个分支,在国民经济迅猛发展的今天,对工程材料的要求越来越高,成为在设计制造高性能金属材料的同时,又迅速发展和应用了高性能的非金属材料。故作为工程技术人员应具备更加广泛的工程材料的知识。

三、本课程的目的、任务和学习方法

“机械工程材料”是高职、高专机械类专业必修的技术基础课。其目的是使学生获得有关机械工程材料的基本理论和基础知识,为学习其他有关课程和将来从事生产技术工作奠定

必要的基础。

本课程的内容主要由金属材料的力学性能、金属学的基本知识、钢的热处理、常用金属材料、非金属材料、复合材料以及工程材料的选用等组成。

本课程的具体任务是：熟悉常用机械工程材料的成分、组织结构与性能间的关系，以及有关的加工工艺对其性能的影响；初步掌握常用机械工程材料性能和应用，并初步具备选用常用材料的能力；初步具有正确选定一般零件的热处理方法及确定其工序位置的能力。

本课程具有较强的理论性与应用性，学习中应注重分析、理解与运用，并注意前后知识的衔接与综合应用；为了提高分析问题、解决问题的能力，在理论学习的同时，要注意联系生产实际，重视实验环节，认真完成作业。教材中热处理方法的选择及确定热处理工序位置、工程材料的选用等内容，尚需在有关后续课程、课程设计和毕业设计中反复练习、巩固与提高后，才能达到掌握与应用的要求。本课程的实践性和实用性都很强，为保证教学质量，本课程应安排在金工实习之后学习。

金属材料的热处理

金属材料的热处理是指将金属材料加热到一定温度，保温一定时间，然后以一定速度冷却下来，以获得所需性能的一种工艺过程。热处理是金属材料加工中不可缺少的重要工序，对提高金属材料的力学性能、改善其加工性能、消除内应力、稳定尺寸等起着关键作用。

一、热处理的目的

金属材料在铸造、锻造、轧制等过程中，由于冷却速度不同，其内部组织不均匀，导致力学性能不稳定。通过热处理，可以改变金属材料的内部组织，从而获得所需的力学性能。此外，热处理还可以消除内应力、稳定尺寸、改善加工性能等。根据GB 937-1986《金属材料热处理》和GB 937-1986《金属材料热处理》的规定，金属材料的热处理工艺应根据其化学成分、组织结构和性能要求进行选择。

第 1 章

金属材料的性能

金属材料由于其特有的性能而被广泛应用。在机械制造行业中，为了设计制造具有竞争力的产品，必须首先了解和掌握材料的各种性能。通常把金属材料的性能分为使用性能和工艺性能。其中使用性能是指金属材料为保证机械零件或工具正常工作应具备的性能，即在使用过程中所表现出的特性。了解并掌握金属的性能，才能正确、经济、合理地选用金属材料。金属材料的使用性能的好坏，直接与我们的日常生活密切相关。金属使用性能包括力学性能、物理性能和化学性能。

1.1 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指金属在不同环境因素（温度、介质）下，承受外加载荷作用时所表现的行为。这种行为通常表现为金属的变形和断裂。因此，金属材料的力学性能可以理解为金属抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。金属常用的力学性能主要有强度、塑性、硬度、韧性和疲劳强度等。

一、强度与塑性

强度是指金属在静载荷作用下抵抗永久变形和断裂的能力。塑性是指金属在静载荷作用下发生不可逆变形的能力。金属材料的强度指标与塑性指标可以通过拉伸试验测得。

拉伸试验是在拉伸试验机上进行的。试验之前，先将被测金属材料制成图 1-1 所示的标准试样（参见 GB 6397—1986《金属拉伸试样》），图中 d_0 为试样原始直径， L_0 为试样原始标距长度。按照 GB 6397—1986《金属拉伸试验试样》规定：试样分为长试样和短试样，对圆形拉伸试样，长试样 $l_0 = 10d_0$ ；短试样 $l_0 = 5d_0$ 。

试验时，将试样装夹在试验机上，且在试样两端缓慢地施加轴向拉伸载荷，使试样承受轴向静拉力。随着载荷不断增加，试样被逐步拉长，直到拉断。在拉伸过程中，试验机将自动记录每一瞬间的载荷 F 与伸长量 ΔL 变化曲线，通常把这种曲线称为拉伸曲线。图 1-2

为低碳钢的拉伸曲线。

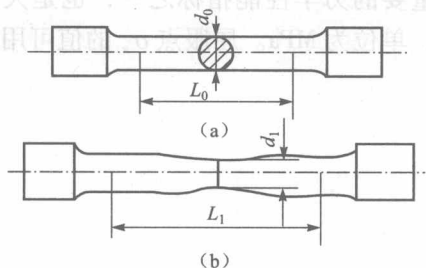


图 1-1 圆形拉伸试样

(a) 圆形拉伸试样；(b) 拉伸后的试样

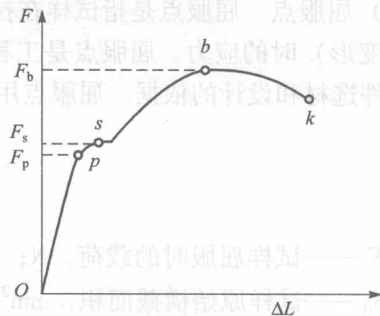


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

观察拉伸试验和拉伸曲线，会发现在拉伸试验的开始阶段，试样的伸长量 ΔL 与拉伸力 F 之间成正比关系，在拉伸曲线图中为斜直线 Op 。在该阶段，当载荷增加时试样的伸长量 ΔL 呈正比增加。当去除载荷，试样能完全恢复到原来的形状和尺寸，即试样处于弹性变形阶段。图中 F_p 是试样保持弹性变形的最大载荷。当载荷超过 F_p 时，试样除产生弹性变形外，还将产生微量的塑性变形；当载荷继续增加到 F_s 时，拉伸曲线在 s 点后出现一个平台，即在载荷不增加的情况下，试样也会明显伸长，这种现象称为“屈服”， F_s 称为屈服载荷。当载荷超过屈服载荷后，试样抵抗变形的能力将会增加，此为冷变形强化现象。在拉伸曲线上表现为一段上升曲线。即随着塑性变形量的增大，试样变形抗力也逐渐增大。

当载荷达到 F_b 时，试样的局部截面开始收缩，产生“缩颈”现象。由于缩颈使试样的变形局限在缩颈部分，故此处承受的载荷迅速减小，直至试样被拉断。 F_b 是试样拉断前能承受的最大载荷，称为极限载荷。

从完整的拉伸试验和拉伸曲线上可以看出，试样从开始拉伸到断裂要经过弹性变形阶段、屈服阶段、冷变形强化阶段、缩颈与断裂阶段。

1. 强度指标

金属材料的强度是用应力来表示的，即材料受载荷作用后内部产生一个与载荷相平衡的内力，单位面积上的内力称为应力，用 σ 表示。常用的强度指标有弹性极限、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应力，用符号 σ_e 表示，单位为 MPa。弹性极限的值可按下式计算

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

式中， F_e ——试样产生完全弹性变形时的最大载荷，N；

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

(2) 屈服点 屈服点是指试样在拉伸试验过程中, 力不增加(保持恒定)仍然能继续伸长(变形)时的应力。屈服点是工程技术上极为重要的力学性能指标之一, 也是大多数机械零件选材和设计的依据。屈服点用符号 σ_s 表示, 单位为 MPa。屈服点 σ_s 的值可用下式计算

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

式中, F_s ——试样屈服时的载荷, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 。

工业上使用的一些金属材料, 如高碳钢、铸铁等, 在进行拉伸试验时没有明显的屈服现象, 也不会产生缩颈现象, 这就无法确定 σ_s 。因此, GB 1063—1989 规定, 试样去除拉伸载荷后, 其标距部分的残余伸长量达到原始标距长度 0.2% 时的应力, 为该材料的屈服强度, 用符号 $\sigma_{0.2}$ 表示。

(3) 抗拉强度 抗拉强度是指试样拉断前所能承受的最大拉应力, 用符号 σ_b 表示, 单位为 MPa。 σ_b 可用下式计算

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

式中, F_b ——试样承受的最大拉伸力, N;

S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ; σ_b 是金属由均匀塑性变形向局部集中塑性变形过渡的临界值, 也是金属在静拉伸条件下的最大承载能力。对于塑性金属来说, 拉伸试样在承受最大拉应力 σ_b 之前, 变形是均匀一致的, 但超过 σ_b 后, 金属开始出现缩颈现象, 即产生集中变形。

2. 塑性指标

材料的塑性指标可以用试样拉断时的最大相对变形量来表示, 常用的有断后伸长率和断面收缩率, 它们是工程上广泛使用的表征材料塑性好坏的主要力学性能指标。

(1) 断后伸长率 断后伸长率是试样拉断后的标距增长量与原始标距之比, 用符号 δ 表示, 可用下式计算

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

式中, L_1 ——拉断后试样的标距长度, mm;

L_0 ——试样原始标距, mm。

材料的伸长率是随标距的增加而减小的, 所以同一材料的短试样要比长试样所测得的伸长率大 20% 左右, 对局部集中变形特别明显的材料, 甚至可大到 50%。因此长、短两种试样求得的断后伸长率应分别以 δ_{10} 和 δ_5 。

(2) 断面收缩率 断面收缩率是指试样拉断后缩颈处横截面积的缩减量与原始横截面积之比,用符号 ψ 表示,可用下式计算

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

式中, S_0 ——试样原始横截面积, mm^2 ;

S_1 ——试样断口处的横截面积, mm^2 。

虽然材料的塑性指标通常不直接用于工程设计计算,但材料的塑性对零件的加工和使用都具有重要的实际意义。塑性好的材料不仅能顺利地进行锻压、轧制等成形加工,而且在使用时万一超载,由于能发生一定的塑性变形而不至于突然断裂,提高了工作的安全性。所以大多数机械零件除要求具有较高的强度外,还必须具有一定的塑性。

二、硬度

硬度是衡量金属软硬程度的一种性能指标,是金属表面上局部体积内抵抗塑性变形和破裂的能力。硬度的测定是通过硬度试验来获得的,硬度试验所用的设备简单,操作迅速方便,它不需要做成专门的试样,可直接在半成品或成品上直接测定硬度,又不损坏被测工件,并且可根据硬度值估计出材料的近似强度和耐磨性。硬度在一定程度上反映了材料的综合力学性能,因此在生产中应用很广。在产品的设计图样的技术条件中,硬度是一项主要技术指标。

硬度的测定方法很多,目前生产中应用较多的是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度等试验方法。

1. 布氏硬度

布氏硬度的试验原理是用一定直径 D 的淬火钢球或硬质合金球,在规定的试验载荷 F 的作用下压入被测金属表面(如图1-3所示),停留一定的时间后卸除载荷,在被测金属表面上得到一直径为 d 的压痕,测量压痕直径 d ,并由此计算压痕的球缺面积 S ,然后再求出压痕的单位面积上所承受的平均压力,以此作为被测金属的布氏硬度值。当选择淬火钢球为压头时,硬度的符号为HBS,适用于布氏硬度值低于450的金属材料;当选择硬质合金球为压头时,硬度的符号为HBW表示,适用于布氏硬度值为450~650的金属材料。布氏硬度值可用下式计算

$$\text{HBS}(\text{HBW}) = \frac{F}{S} = \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中, F ——载荷, N (kgf);

D ——压头的直径, mm;

d ——被测金属的压痕直径, mm。

由于金属有硬有软,工件有厚有薄,在进行布氏硬

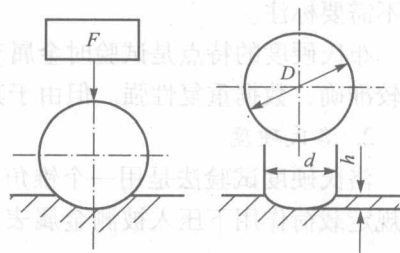


图1-3 布氏硬度试验原理示意图

度试验时，压头直径 D 、载荷和载荷的保持时间应根据被测金属种类和厚度正确地进行选择。按 GB 231—1984 规定，压头直径有 10 mm、5 mm、2.5 mm、2 mm 和 1 mm 五种，载荷与压头直径平方的比值 (F/D^2) 有 30 mm、15 mm、10 mm、5 mm、2.5 mm、1.25 mm 和 1 mm 共 7 种，可根据金属材料的种类和布氏硬度范围，按表 1-1 选定 F/D^2 的值；载荷的保持时间黑色金属为 10~15 s，有色金属为 30 s，布氏硬度值小于 35 时为 60 s。

 表 1-1 布氏硬度试验的 F/D^2 值的选择

材 料	布 氏 硬 度	F/D^2 ①
钢及铸铁	<140	10
	>140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻金属及其合金	<35	2.5 (或 1.25)
	35~80	10 (或 5、15)
	>80	10 (或 15)
铅、锡		1.25 (或 1)

① 试验条件允许时，应尽量选用 10 mm 压头和无括号的 F/D^2 。

布氏硬度的标注方法是所测得的硬度值应在硬度符号的前面。除了采用钢球直径 D 为 10 mm，试验力为 3 000 kgf*，保持时间为 10 s 的试验条件外，在其他试验条件下测得的硬度值，均应在硬度符号的后面用相应的数字注明压头直径、载荷大小和载荷保持时间。例如：150 HBS10/1 000/30 表示：用直径为 10 mm 的淬火钢球，在 1 000 kgf 载荷作用下保持 30 s，测得的布氏硬度值为 150。500 HBW5/750 表示：用直径为 5 mm 的硬质合金球，在 750 kgf 载荷作用下保持 10~15 s 测得的布氏硬度值为 500。一般试验力保持时间为 10~15 s 时不需要标注。

布氏硬度的特点是试验时金属表面压痕大，能客观地反映被测金属的平均硬度，试验结果较准确，数据重复性强。但由于其压痕大，不宜测量成品或薄片金属的硬度。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是用一个锥角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm 的淬火钢球，在规定载荷作用下压入被测金属表面，由压头在金属表面所形成的压痕的深度来确定其硬

* 注：1 kgf=9.806 N。

度值。

如图 1-4 表示金刚石圆锥压头的洛氏硬度试验原理。图中, 0-0 为金刚石压头初始位置, 1-1 为在初载荷 98.07 N 作用下, 压头压入深度为 h_0 时的位置, 加初载荷的目的是使压头与试样表面紧密接触, 避免由于试样表面不平整而影响试验结果的精确性; 2-2 为在总载荷 (初载荷 + 主载荷) 作用下, 压头压入深度为 h_1 时的位置; 3-3 为卸除主载荷后由于被测金属弹性变形恢复, 使压头略为提高的位置。这时由主载荷引起的塑性变形而产生的压痕深度为 e , 称为残余压痕深度增量, 以此来衡量被测金属的

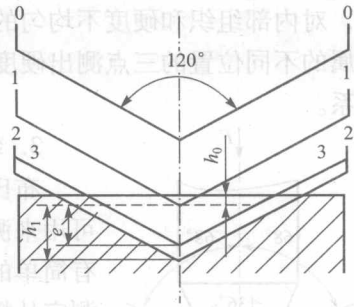


图 1-4 洛氏硬度试验原理图

硬度。显然, e 值愈大时, 被测金属的硬度愈低; 反之则越高。为了照顾习惯上数值越大, 硬度越高的概念, 故采用一个常数 k 减去 e 来表示硬度的大小, 并用 0.002 mm 的压痕深度为一个硬度单位, 由此获得的硬度值称为洛氏硬度值, 用符号 HR 表示。即

$$HR = \frac{k - e}{0.002}$$

式中, k ——常数, 用金刚石圆锥体作压头时, $k = 0.2$ mm; 用钢球作压头时, $k = 0.26$ mm。

为了能用同一硬度计测量从极软到极硬材料的硬度, 可采用不同的压头和载荷, 组成几种不同的洛氏硬度标尺, 其中常用的是 A、B、C 三种标尺。表 1-2 为这三种标尺的试验条件和应用范围。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和应用

标尺	硬度符号	所用压头	总载荷/N (kgf)	硬度值有效范围	应用范围
A	HRA	金刚石圆锥	588.4 (60)	70 ~ 88	硬质合金、淬火工具钢、碳化物、浅表面硬化钢
B	HRB	φ1.588 淬火钢球	980.7 (100)	20 ~ 100	软钢、铜合金、铝合金、可锻铸铁
C	HRC	金刚石圆锥	1 471 (150)	20 ~ 70	淬火钢及低温回火钢、调质钢、深表层硬化钢

硬度值为一无名数, 根据 GB/T 230—1991 规定, 硬度数值写在符号 HR 的前面, HR 后面为使用的标尺, 如 50 HRC 表示用“C”标尺测定的洛氏硬度值为 50。在试验时, 硬度值一般均由硬度计的刻度盘上直接读出。

洛氏硬度试验是生产中广泛应用的一种硬度试验。其特点是: 硬度试验压痕小, 对试样表面损伤小, 常用来直接检验成品或半成品的硬度; 试验操作迅速简便, 可以直接从试验机

上读出硬度值。当采用不同标尺时，可测量出从极软到极硬材料的硬度。其缺点是由于压痕小，对内部组织和硬度不均匀的材料，所测结果不够准确。因此，在测试洛氏硬度时在被测金属的不同位置的三点测出硬度值，再计算其平均值。洛氏硬度各标尺之间没有直接的对应关系。

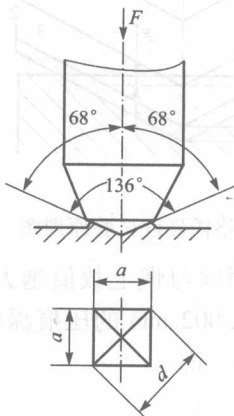


图 1-5 维氏硬度试验原理图

3. 维氏硬度

布氏硬度试验不能测定硬度较高的金属材料；洛氏硬度试验虽可用于测定由极软到极硬金属材料的硬度，但不同标尺的硬度间没有简单的换算关系，使用上很不方便。为了能在同一种硬度标尺上，测定从极软到极硬金属材料的硬度值，因而特制定了维氏硬度试验法。

维氏硬度的试验原理与布氏硬度基本相似，如图 1-5 为维氏硬度试验原理图，它是用一个相对面夹角为 136° 的金刚石正四棱锥体作压头，以规定的载荷 F 作用下压入被测金属表面，保持一定时间后卸除载荷，则被测金属表面上压出一个正四棱锥形的压痕，测量压痕投影的两对角线的平均长度 d ，进而计算出压痕的表面积 S 。最后求出压痕单位面积上承受的平均压力，以此作为被测金属的硬度值，称为维氏硬度，用符号 HV 表示。即

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{F}{\frac{d^2}{2 \sin 68^\circ}} = 1.8544 \frac{F}{d^2}$$

式中， F ——载荷，kgf；

d ——压痕两条对角线长度算术平均值，mm。

与布氏硬度一样，习惯上也只写出硬度数值而不标出单位。在硬度符号 HV 之前的数字为硬度值，HV 后面的数值依次表示载荷和载荷保持的时间（保持时间为 10 ~ 15 s 时不标注）。如：640 HV30 表示在 30 kgf 载荷作用下，保持 10 ~ 15 s 测得的维氏硬度值为 640。620 HV30/20 表示在 30 kgf 载荷作用下，保持 20 s 测得的维氏硬度值为 620。

维氏硬度适用范围宽，从极软到极硬的材料都可以测量。尤其适用于零件表面层硬度的测量，如化学热处理的渗层硬度测量，其结果精确可靠。但测取维氏硬度值时需要测量对角线长度，然后查表或计算，而且对试样表面的质量要求高，所以，测量效率较低，没有洛氏硬度方便，不适用于成批生产的常规试验。

三、冲击韧性

以很大速度作用于工件上的载荷称为冲击载荷。许多机械零件和工具在工作时承受冲击

载荷的作用,如冲床的冲头、锻锤的锤杆、风动工具等。对这类零件,不仅要满足在静力作用下的强度、塑性、硬度等性能判据,还必须具有足够抵抗冲击载荷的能力。

金属材料在冲击载荷的作用下,抵抗破坏的能力叫做冲击韧性。为了评定金属材料的冲击韧性,需进行一次冲击试验。一次冲击试验通常是在摆锤式冲击试验机上进行的,按 GB/T 229—1994 规定,被测金属须制成标准冲击试样,如图 1-6 所示。试验时将试样放在试验机两支座 1 处,将一定质量 G 的摆锤自高度 h_1 自由落下,冲断试样后摆锤升高到 h_2 高度(见图 1-7 所示)。则摆锤冲断试样所消耗的能量,即为试样在冲击力一次作用下折断时所吸收的功,称为冲击功,用符号 A_K 表示。即

$$A_K = Gg(h_1 - h_2)$$

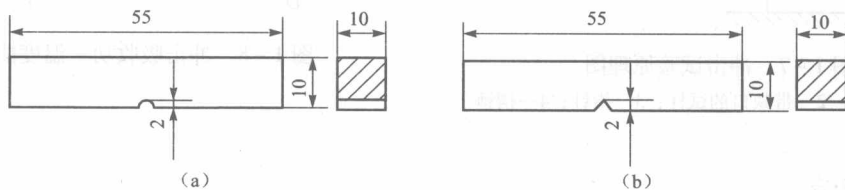


图 1-6 冲击试样

(a) U 型缺口; (b) V 型缺口

根据两种试样缺口形状不同,冲击功分别用 A_{KU} 和 A_{KV} 表示,单位为焦耳(J)。冲击功不需计算,可由冲击试验机的刻度盘上直接读出。试样缺口处单位横截面积 S 上的冲击功,称为冲击韧度,用符号 a_K 表示,单位为 J/cm^2 。

$$a_K = \frac{A_K}{S}$$

式中, S ——试样缺口处横截面积, cm^2 。

冲击功 A_K 愈大,材料的韧性愈好。一般把冲击功低的金属材料称为脆性材料。脆性材料在断裂前无明显的塑性变形,断口较平整、呈晶状或瓷状,有金属光泽;韧性材料在断裂前有明显的塑性变形,断口呈纤维状,无光泽。

冲击功 A_K 的大小与试验的温度有关。有些材料在室温(20℃)左右试验时不显示脆性,而在较低温度下可能发生脆性断裂,从图 1-8 可以看出,在某一温度处,冲击功急剧降低,金属材料由韧性断裂转变为脆性断裂,这一温度区域称为韧脆转变温度。材料的韧脆转变温度越低,材料的低温抗冲击性能越好。

冲击功还与试样形状、尺寸、表面粗糙度、内部组织和缺陷有关。因此,冲击功一般作为选材的参考,而不能直接用于强度计算。应当指出,冲击试验时,冲击功中只有一部分消耗在断开试样的缺口截面上,而其余部分则消耗在冲断试样前,缺口附近体积内的塑性变形上。因此,冲击韧度不能真正代表材料的韧性,而冲击功 A_K 作为材料韧性的判据指标更为