



普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工程

CONGCHENGCAILIAO

材料

孙维连 魏凤兰 主编



中国农业大学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

工 程 材 料

孙维连 魏凤兰 主编

中国农业大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

工程材料/孙维连,魏凤兰主编.—北京:中国农业大学出版社,2006.1

高等农林院校精品课程建设教材

ISBN 978-7-81066-930-6

I. 工… II. ①孙… ②魏… III. 工程材料-高等学校-教材 IV. TB3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 087474 号

书 名 工程材料

主 编 孙维连 魏凤兰

策划编辑	张秀环	责任编辑	阚春 张苏明
封面设计	郑川	责任校对	王晓凤 陈莹
出版发行	中国农业大学出版社		
社 址	北京市海淀区圆明园西路2号	邮政编码	100094
电 话	发行部 010-62731190,2620	读者服务部	010-62732336
	编辑部 010-62732617,2618	出 版 部	010-62733440
网 址	http://www.cau.edu.cn/caup	E-mail	caup @ public. bta. net. cn
经 销	新华书店		
印 刷	北京时代华都印刷有限公司		
版 次	2006年1月第1版	2007年6月第2次印刷	
规 格	787×1 092	16开本	15.5印张 382千字
印 数	4 001~6 000		
定 价	22.00元		

图书如有质量问题本社发行部负责调换

主 编 孙维连 魏凤兰

副主编 李云东 张建军 刘启定

编 者 (按姓氏笔画为序)

么永强 刘启定 孙维连 李云东
张建军 何春霞 商 茹 董晓威
魏凤兰

主 审 田振祥

前 言

“工程材料及机械制造基础”系列教材由《机械制造工程实践》(孙维连主编)、《工程材料》(孙维连、魏凤兰主编)、《材料成形工艺基础》(申庆泰、聂信天主编)、《机械制造工艺基础》(刘存祥、康敏主编)等4册组成,是参考教育部工程材料及机械制造基础课程教学指导小组关于“重点高等工科院校《工程材料机械制造工艺基础》系列课程改革指南(征求意见稿)”的精神和有关院校编写的教材,结合作者多年来的教学经验编写的。

“工程材料及机械制造基础”是一门研究机器零件的常用材料和加工方法,从选择材料、制造毛坯直到加工出零件的综合技术基础课,该课程的特点是理论教学与工程实践相结合。本系列教材根据大多数院校现行的教学课时安排,在保证传统基础教学知识的基础上,部分章节增加了新材料、新技术、新工艺等内容。各章前注明本章要点,便于学习时明确重点,各章后附有复习思考题,可供选用。为便于了解英文专业词汇,在重要专业词汇后进行了标注。“工程材料及机械制造基础”系列教材可作为机械和非机类本科学生的教学参考书,也可供有关工程技术人员参考。

《工程材料》教材的主要内容包含金属学、热处理、金属材料、失效分析、合理选材以及非金属材料。本书以金属材料为主,兼顾非金属材料。书中材料牌号、名词术语和单位采用国家最新标准。适合40学时左右教学使用。

参加本书编写的有河北农业大学孙维连、么永强和云南农业大学商茹、黑龙江八一农垦大学董晓威(绪论、第6章、第8章、课堂讨论、实验指导书、附录),沈阳农业大学魏凤兰(第2章、第3章、第4章),河南农业大学李云东(第1章、第5章),西南大学张建军(第7章),湖南农业大学刘启定(第9章、第11章),南京农业大学何春霞(第10章)。本书部分金相照片由河北农业大学王会强提供。

本书由田振祥教授主审。

限于编者水平和时间仓促,错误和不妥之处恳请读者批评指正。

编 者

2005年11月9日

目 录

绪论	(1)
1 工程材料的力学性能	(3)
1.1 静载荷条件下材料的力学性能	(4)
1.2 动载荷条件下材料的力学性能	(10)
1.3 断裂韧度	(13)
1.4 高温下材料的力学性能	(14)
复习思考题	(15)
2 金属的晶体结构与结晶	(16)
2.1 纯金属的典型晶体结构	(16)
2.2 实际金属的结构	(24)
2.3 金属的结晶与同素异构转变	(30)
2.4 晶粒大小及其控制	(34)
2.5 铸锭的结构	(35)
复习思考题	(37)
3 二元合金与相图	(39)
3.1 固态合金相结构	(39)
3.2 二元合金相图的建立	(46)
3.3 合金的性能与相图之间的关系	(58)
复习思考题	(59)
4 铁碳合金相图	(61)
4.1 纯铁、铁碳合金中的相与基本组织	(61)
4.2 铁碳合金相图	(64)
4.3 铁碳合金相图的应用	(73)
4.4 碳素钢	(74)
复习思考题	(83)
5 金属的塑性变形和再结晶	(85)
5.1 金属塑性变形的实质	(85)
5.2 塑性变形对金属性能与组织的影响	(87)
5.3 塑性变形金属在加热时组织和性能的变化	(89)
5.4 金属的热加工	(91)
复习思考题	(93)
6 钢的热处理及表面处理	(94)
6.1 概述	(94)
6.2 钢在加热时的组织转变	(94)

6.3	钢在冷却时的组织转变	(96)
6.4	钢的退火和正火	(104)
6.5	钢的淬火	(106)
6.6	钢的淬透性	(110)
6.7	钢的回火	(113)
6.8	钢的表面淬火	(114)
6.9	钢的化学热处理	(117)
6.10	热处理零件的结构工艺性	(121)
6.11	钢铁的表面处理	(123)
6.12	热处理技术的发展动向	(125)
	复习思考题	(128)
7	合金钢	(130)
7.1	合金钢基本知识	(130)
7.2	低合金钢和合金结构钢	(135)
7.3	合金工具钢	(146)
7.4	特殊性能钢	(156)
	复习思考题	(165)
8	铸铁	(166)
8.1	概论	(166)
8.2	常用铸铁	(167)
8.3	合金铸铁	(174)
	复习思考题	(175)
9	有色金属及其合金	(176)
9.1	铝及铝合金	(176)
9.2	铜及铜合金	(183)
9.3	钛及钛合金	(189)
9.4	镁及镁合金	(191)
9.5	轴承合金	(192)
	复习思考题	(194)
10	非金属材料	(195)
10.1	高分子材料基础	(195)
10.2	塑料	(196)
10.3	橡胶	(200)
10.4	复合材料	(202)
10.5	陶瓷	(207)
10.6	硬质合金	(209)
	复习思考题	(210)
11	机械零件的选材与工艺分析	(211)
11.1	机械零件的失效分析	(211)

11.2 机械零件选材的一般原则·····	(214)
11.3 典型零件选材及工艺性分析·····	(218)
复习思考题·····	(222)
12 实验指导书 ·····	(223)
实验1 铁碳合金平衡组织分析·····	(223)
实验2 碳素钢的热处理及组织观察·····	(225)
实验3 常用金属材料的显微组织观察·····	(227)
实验4 工程材料综合实验·····	(230)
课堂讨论 ·····	(231)
讨论1 铁碳相图·····	(231)
讨论2 钢的热处理·····	(232)
讨论3 合金钢·····	(233)
讨论4 材料的选择和使用·····	(234)
附录 ·····	(236)
附录A 金属材料硬度与强度的经验关系式·····	(236)
附录B 常用钢种回火温度与硬度对照表·····	(237)
参考文献 ·····	(238)

绪 论

材料是人类生产和生活的物质基础,也是人类技术进步的标志。从远古的石器时代(公元前 6000—前 5000 年)到青铜器时代(公元前 2140 年始)和铁器时代(公元前 770—前 221 年),都直接反映出了人类社会发展的文明程度。我们亲身经历了从钢铁时代向硅芯片为代表的电子材料时代的过渡。当今材料被广泛地应用于常规和高精尖技术,在机械、运输、建筑、能源、医疗、通讯、计算机等行业发挥十分关键的作用。

材料科学既是一门古老的学科,又是一个不断焕发青春的学科。它既具有悠久的历史,又处于当今科学技术中的主导地位。在材料的生产和使用方面我们的祖先有过辉煌的成就。商周时代的青铜冶炼已达到相当大的规模,从河南安阳晚商遗址中出土的司母戊鼎重达 875 kg,反映出精湛的铸造技术。到春秋战国时期已达到技术顶峰,在湖北江陵发掘的著名的越王勾践的两把宝剑,其制造水平令人惊讶,堪称青铜器的杰作。我国从春秋战国时期(公元前 770—前 221 年)已开始使用大量铁器,从兴隆战国遗址中发掘的浇注农具的铁模,说明冶铸技术由泥沙造型水平进入铁模铸造的高级阶段。西汉《史记·天官书》记载有“水与火合为淬”,说出了钢铁加热水冷的淬火热处理的工艺要点。先炼铁后炼钢的两步炼钢技术我国要比其他国家早 1 600 年。钢铁技术的快速发展,对社会进步起了巨大的推动作用。

18 世纪后物理、化学、力学等科学的发展,尤其是显微镜的发明及使用,使金属材料的生产和应用由感性经验阶段进入了理论指导阶段。20 世纪 X 光技术、电子显微技术、同位素技术的成功使用,使材料科学进入了新时代。新中国成立后我国用碳素结构钢 A3(即 Q235)建造了武汉长江大桥,用强度较高的合金钢 16Mn 建造了南京长江大桥,用强度更高的合金结构钢 16MnVN 建成了九江大桥,原子弹、氢弹的研制成功,火箭、人造卫星的上天,都凝聚着材料研究的成果。现代科学技术的发展促进和支持了材料工业的迅速发展,新材料、新工艺不断涌现,而且伴随着金属材料的发展,一些非金属材料、陶瓷和复合材料也迅速发展起来,弥补了金属材料性能的某些不足。年产 30 万吨的乙烯工程的建成,就是高分子材料工业发展的见证,在机械制造业中这些新材料的份额逐渐增加。金属材料、非金属材料、复合材料构成了完整的工程材料体系。

在现代科学技术中,材料科学技术在工业发展方面起着重要作用。材料、能源和信息成为现代社会和现代技术三大支柱。材料按工业工程来分有机械工程材料(机床、农业机械、交通设备、电工设备、化工和纺织设备),土建材料(水泥),电工材料(铜、铝、硅钢片);按物质结构分有金属材料(黑色金属和有色金属),无机非金属材料(陶瓷),有机高分子材料(塑料、橡胶、合成纤维),复合材料(玻璃钢,卫星壳体,宇宙飞行器外壳,飞机机身,螺旋桨,发动机叶轮,汽车车身,轻型船艇,耐酸、盐、碱、油的管道、容器);按用途分有结构材料(以力学性能为主要使用性能并兼顾一定的物理化学性能),功能材料(特异物理化学性质的材料、超导材料、阻尼材料、激光材料、储氢材料、生物材料、半导体材料、形状记忆材料等)。

材料科学技术的发展和应用,促进了机械制造业的飞跃,现代设计与制造的机械已不是原

来意义上的单纯机械了,已经发展到机电一体化阶段。我国是一个钢材生产和使用的大国,目前钢产量和使用量跃居世界首位。材料科学和工程技术发展迅速,我们需要掌握材料科学的基本理论和基本知识,研究和发明新材料新工艺,合理使用各种工程材料,充分发挥材料的潜力。

本教材主要涉及的是机械工程材料,并按物质结构及用途进行简明阐述。在机械工程材料中金属材料目前仍是最主要的材料,尤其是钢铁材料因具有优良的力学性能、工艺性能和低的成本,在机械工程中仍占首要地位。本书重点阐述钢铁材料内容,非金属材料尤其是高分子材料和复合材料发展迅速,在机械工程中地位不断上升,专设一章加以介绍。

本课程是机械类、近机械类专业学生必修的技术基础课,它是一门偏于叙述性质的课程,既介绍了高度浓缩的基础知识(材料的化学成分、加工工艺、组织结构与性能之间的关系),又具有实践性很强的应用知识。

这门课涉及的内容主要有两大部分,即金属材料和非金属材料。金属材料部分包括金属学、热处理学、金属材料。非金属材料部分由高分子材料、陶瓷材料和复合材料3部分组成。这门课概念、符号相对较多,颇有广度,但欠深度。它不像数学课有严谨的逻辑性和绝对性,很多地方存在着合理与不合理、先进与不先进、可行与不可行并存等状况,需要因时因地适当进行选择,而不是绝对的非此即彼。因此这门课除了使学生获得相关的知识外,还会促进学生的思维方法逐渐成熟,克服绝对性、片面性,认识到事物的复杂性和相对性。

学习本课程要求学生了解基本知识、基本原理、工艺和作用,掌握金属材料的成分、组织、性能及用途,了解新型材料的发展状况,了解非金属材料的组成、性能及应用等基本知识。本课程应放在金工实习后学习,它是某些后继课程和课程设计及毕业设计的基础。

本书内容是参照教育部对机械类专业本科的工程材料及机械制造基础课程教学基本要求编写的,适合本科生和从事工程材料方面工作的工程技术人员阅读。

1 工程材料的力学性能

本章要点:力学性能是指材料在外力作用时表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。硬度值可以间接地反映材料的强度、塑性和韧性以及材料在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异,因而硬度试验在工程上应用十分广泛。生产中常用的硬度试验是布氏硬度、洛氏硬度和维氏硬度。

在机械设备及工具的设计、制造中选用工程材料时,大多以力学性能(mechanics performance)为主要依据,因此熟悉和掌握工程材料的力学性能是非常重要的。所谓力学性能是指材料在外力作用时表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性及疲劳强度等。

材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同,分为静载荷、冲击载荷及疲劳载荷等3种:静载荷是指大小不变或变动很慢的载荷;冲击载荷是指突然增加的载荷;疲劳载荷是指所经受的周期性或非周期性的动载荷(也称循环载荷)。

可以根据载荷作用方式不同,分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图1-1所示。

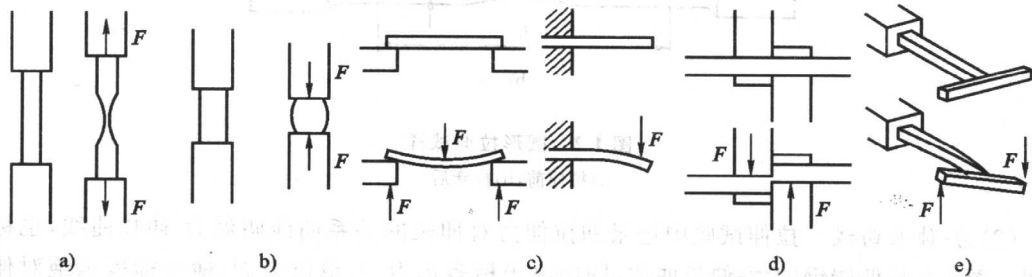


图1-1 载荷的形式

a) 拉伸载荷; b) 压缩载荷; c) 弯曲载荷; d) 剪切载荷; e) 扭转载荷

材料受不同载荷作用而发生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形。

材料受外力作用后,为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力,称为内力。单位面积上的内力称为应力。材料受拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面积上的应力 σ 按下式计算:

$$\sigma = \frac{F}{S}$$

式中: F 为外力,N; S 为横截面积, m^2 ; σ 为应力。应力单位是Pa, $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ 。当面积用 mm^2 时,则应力可以MPa为单位, $1\text{ MPa} = 1\text{ N/mm}^2 = 10^6\text{ Pa}$ 。

1.1 静载荷条件下材料的力学性能

1.1.1 强度

材料抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度(intensity),强度大小通常用应力来表示。根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度(σ_b)、抗压强度(σ_{bc})、抗弯强度(σ_{bb})、抗剪强度(τ_b)和抗扭强度(τ_t)等5种。一般情况下多以抗拉强度作为判别材料强度高低的指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和相应的伸长,直至断裂。根据测得的数据,即可求出有关的力学性能。

(1)拉伸试样 拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。在国家标准(GB 397—86)中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图1-2所示为圆形拉伸试样。图中 d_0 为试样的直径; l_0 为标距长度。根据标距长度与直径之间的关系,试样可分为长试样($l_0=10d_0$)和短试样($l_0=5d_0$)。

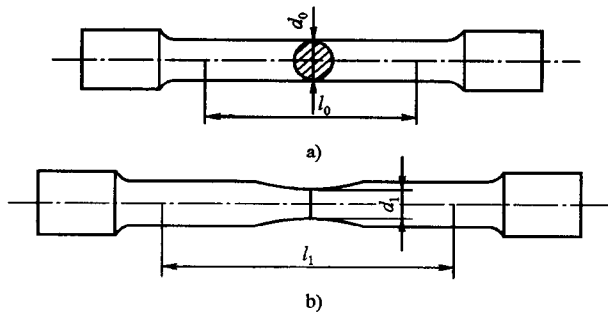


图 1-2 圆形拉伸试样

a)拉伸前;b)拉伸后

(2)力-伸长曲线 拉伸试验中记录的拉伸力对伸长的关系曲线叫做力-伸长曲线,也称拉伸图。图1-3是低碳钢的力-伸长曲线,图中纵坐标表示力 F ,单位为N;横坐标表示绝对伸长 Δl ,单位为mm。图中明显地表现出下面几个变形阶段:

O_e ——弹性变形阶段:试样变形完全是弹性的,卸载后试样即恢复原状。这种随载荷的作用而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。 F_e 为能恢复原始形状和尺寸的最大拉伸力。

e_s ——屈服阶段:当载荷超过 F_e 时,若卸载的话,试样的伸长只能部分地恢复,而保留一部分残余变形。这种不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形。当载荷增加到 F_s 时,图上出现平台或锯齿状,这种在载荷不增加或略有减小的情况下,试样继续发生变形的现象叫做屈服。 F_s 称为屈服载荷。屈服后,材料将残留较大的塑性变形。

s_b ——强化阶段:在屈服阶段以后,欲使试样继续伸长,必须不断加载。随着塑性变形增大,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化(或称加工硬化)。 F_b 为试样拉伸试验时的最大载荷。

b_z ——缩颈阶段(局部塑性变形阶段):当载荷达到最大值时,试样的直径发生局部收缩,

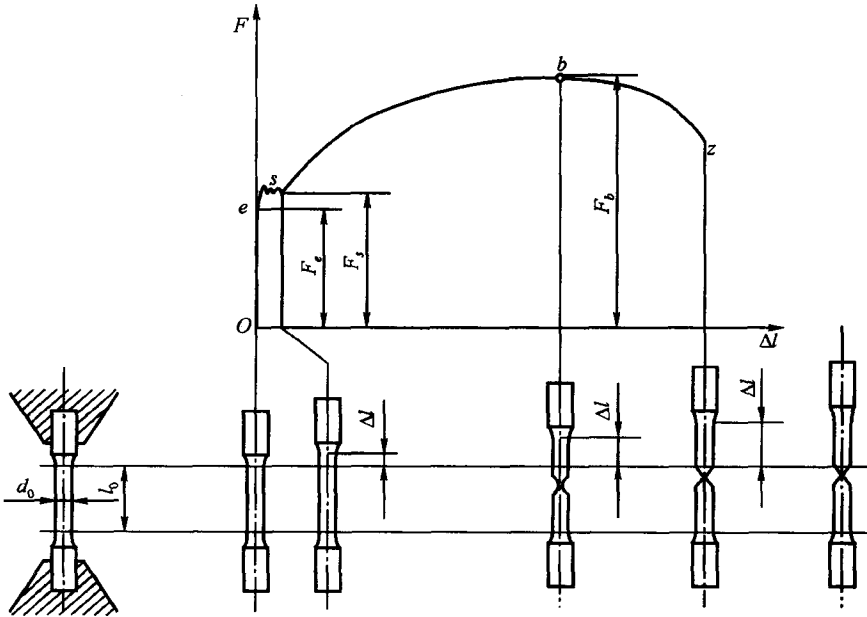


图 1-3 低碳钢的力-伸长曲线

称为“缩颈”。试样变形所需的载荷也随之降低，这时伸长主要集中于缩颈部位，直至断裂。

工程上使用的材料，多数没有明显的屈服现象。对于低塑性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”，如球墨铸铁等。

图 1-4 为铸铁的力-伸长曲线。

(3) 强度指标

① 屈服点：试样在试验过程中，力不增加（保持恒定）仍能继续伸长（变形）时的应力称为屈服点，用符号 σ_s 表示，计算公式如下：

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

式中： σ_s 为屈服点， N/mm^2 ； F_s 为试样屈服时的载荷， N ； S_0 为试样原始横截面积， mm^2 。

对于无明显屈服现象的材料，多测定其规定残余伸长应力值。 σ_r 表示试样卸除拉伸载荷后，其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力。例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率达到 0.2% 时的应力，按下列公式计算：

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0}$$

式中： $F_{r0.2}$ 为残余伸长率达 0.2% 时的载荷， N ； S_0 为试样原始横截面积， mm^2 ； $\sigma_{r0.2}$ 为规定残余伸长应力， N/mm^2 。

图 1-5 为规定残余伸长应力示意图。

机械零件在工作时如受力过大，则因过量的塑性变形而失效。当零件工作时所受的力低于材料的屈服点或规定残余伸长应力，则不会产生过量的塑性变形。材料的屈服点或规

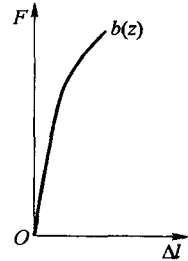


图 1-4 铸铁的力-伸长曲线

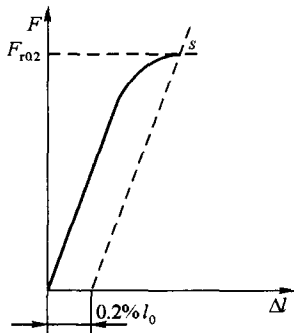


图 1-5 规定残余伸长应力示意图

定残余伸长应力越高,允许的工作应力也越高,则零件的截面尺寸及自身质量就可以减小。因此,材料的屈服点或规定残余伸长应力是机械设计的主要依据,也是评定材料优劣的重要指标。

②抗拉强度:材料在拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度,用符号 σ_b 表示,按下列公式计算:

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

式中: σ_b 为抗拉强度, N/mm^2 ; F_b 为试样承受的最大载荷, N ; S_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

抗拉强度表示材料在拉伸载荷作用下的最大均匀变形的抗力,也是机械零件设计和选材的主要依据之一。

1.1.2 塑性

断裂前材料产生永久变形的能力称为塑性(plasticity)。塑性指标也是由拉伸试验测得的,常用材料拉伸时最大的相对塑性变形(伸长率和断面收缩率)来表示。

(1)伸长率 试样拉断后,标距的伸长与原始标距的百分比称为伸长率,用符号 δ 表示,其计算方法如下:

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

式中: δ 为伸长率,%; l_1 为试样拉断后的标距, mm ; l_0 为试样的原始标距, mm 。

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 。

(2)断面收缩率 试样拉断后,缩颈处截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比为断面收缩率,用符号 Ψ 表示,其计算方法如下:

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

式中: Ψ 为断面收缩率,%; S_0 为试样的原始横截面积, mm^2 ; S_1 为试样拉断处的最小横截面积, mm^2 。

材料的伸长率(δ)和断面收缩率(Ψ)数值越大,表示材料的塑性越好。塑性好的材料可以发生大量塑性变形而不破坏,便于通过塑性变形加工成复杂形状的零件。例如,工业纯铁的 δ 可达 50%, Ψ 可达 80%,可以拉成细丝,轧成薄板等。而铸铁的 δ 和 Ψ 几乎为零,所以不能进行塑性变形加工。塑性好的材料,在受力过大时,由于首先产生塑性变形而不致发生突然断裂,因此比较安全。

1.1.3 硬度

材料抵抗局部变形(特别是塑性变形)、压痕或划痕的能力称为硬度(hardness)。硬度是

各种零件和工具必须具备的性能指标。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。因此硬度是材料重要的力学性能之一。

与拉伸试验相比,硬度试验简便易行,硬度值又可以间接地反映材料的强度以及材料在化学成分、金相组织和热处理工艺上的差异,因而硬度试验应用十分广泛。硬度试验的方法很多,有压入硬度试验法(如布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等)、划痕硬度试验法(如莫氏硬度)、回跳硬度试验法(如肖氏硬度)等,生产中常用的是压入硬度试验法。

(1) 布氏硬度

①布氏硬度(Brinell hardness)的测试原理:图 1-6 为布氏硬度的试验原理图。它是用一定直径的球体(钢球或硬质合金球),以相应的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量表面压痕直径来计算硬度的一种压痕硬度试验。

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,用符号 $HBS(HBW)$ 来表示。布氏硬度值按下式计算:

$$HBS(HBW) = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

式中: $HBS(HBW)$ 为用钢球(或硬质合金球)试验时的布氏硬度值; F 为试验力,N; D 为球体直径,mm; d 为压痕平均直径,mm。

从上式中可以看出,当外载荷 F 、压头球体直径 D 一定时,布氏硬度值仅与压痕直径 d 的大小有关。 d 越小,布氏硬度值越大,也就是硬度越高。相反, d 越大,布氏硬度值越小,硬度也越低。在实际应用中,布氏硬度一般不用计算,而是用专用的刻度放大镜量出压痕直径 d ,根据压痕直径的大小,再从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。

②布氏硬度的符号及表示方法:当试验的压头为淬硬钢球时,其硬度符号用 HBS 表示。当试验压头为硬质合金球时,其硬度符号用 HBW 表示。

布氏硬度的表示方法规定为:符号 HBS 或 HBW 之前的数字为硬度值,符号后面按以下顺序用数字表示试验条件:球体直径/试验力/试验力保持的时间(10~15 s 不标注)。

例如 170 HBS 10/1000/30 表示用直径 10 mm 的钢球,在 9 807 N(1 000 kgf)的试验力作用下,保持 30 s 时测得的布氏硬度值为 170。530 HBW 5/750 表示用直径 5 mm 的硬质合金球,在 7 355 N(750 kgf)的试验力作用下,保持 10~15 s 时测得的布氏硬度值为 530。

③试验条件的选择:布氏硬度试验时,压头球体的直径 D ,试验力 F 及试验力保持的时间 t ,应根据被测材料的种类、硬度值的范围及材料的厚度进行选择。

常用的压头球体直径 D 有 1, 2, 2.5, 5 和 10 mm 5 种。试验力 F 可从 9.807 N (1 kgf)~29.42 kN(3 000 kgf)范围内,二者之间的关系详见表 1-1。试验力保持时间,一般黑色材料为 10~15 s;有色材料为 30 s;布氏硬度值小于 35 时为 60 s。

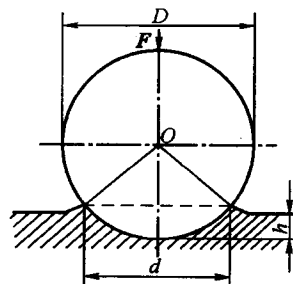


图 1-6 布氏硬度试验原理图

表 1-1 根据材料和布氏硬度范围选择 F/D^2 值

材 料	布氏硬度	F/D^2
钢及铸铁	<140	10
	≥ 140	30
铜及其合金	<35	5
	35~130	10
	>130	30
轻材料及其合金	<35	2.5(1.25)
	35~80	10(5 或 15)
	>80	10(15)
铅、锡		1.25(1)

注:(1)当试验条件允许时,应尽量选用直径为 10 mm 球。(2)当有关标准中没有明确规定时,应使用无括号的 F/D^2 值。

④应用范围及优缺点:布氏硬度适用于铸铁、有色金属及其合金、各种退火及调质的钢材,特别对于软材料,如铝、铅、锡等更为适宜。布氏硬度的优点是具有很高的测量精度,它采用的试验力大,球体直径也大,因而压痕直径也大,能较真实地反映出材料的平均性能。另外,由于布氏硬度与其他力学性能(例如抗拉强度)之间存在着一定的近似关系,因而在工程上得到广泛应用。缺点是操作时间较长,对不同材料需要更换压头和试验力,压痕测量也较费时间。在进行高硬度材料试验时,由于球体本身的变形会使测量结果不准确。因此,用钢球压头测量时,硬度值必须小于 450 HBS;用硬质合金球压头时,硬度值必须小于 650 HBW。又因压痕较大,不宜用于测量成品件及薄件。

(2)洛氏硬度

①洛氏硬度(Rockwell hardness)测试原理:在初始试验力 F_0 及总试验力 $F_0 + F_1$ 先后作用下,将压头(金刚石圆锥体或钢球)压入试样表面,经规定保持时间后卸除主试验力 F_1 ,用保持初始试验力的条件下测量的残余压痕深度增量来计算硬度。图 1-7 为用金刚石圆锥体压头进行洛氏硬度试验的示意图。从图中可看出,洛氏硬度值 HR 是用洛氏硬度相应标尺刻度满量程 100 与残余压痕深度增量 e 之差计算硬度值,计算公式如下:

$$HR = k - e$$

式中: HR 为洛氏硬度值; k 为常数,用金刚石圆锥体压头进行试验时 k 为 100,用钢球压头进行试验时 k 为 130; e 为残余压痕深度增量,单位为 0.002 mm。

②常用洛氏硬度标尺及其适用范围:为了用一台硬度计测定从软到硬不同材料的硬度,可采用不同的压头和总试验力,组成 15 种洛氏硬度标尺,每一种标尺用一个字母在洛氏硬度符号 HR 后面加以注明。常用的洛氏硬度标尺有 HRA,HRB,HRC 3 种,其中 HRC 应用最为广泛。3 种洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围见表 1-2。

表 1-2 常用洛氏硬度标尺的试验条件和适用范围

硬度标尺	压头类型	总试验力/N	硬度值有效范围	应用举例
HRC	120°金刚石圆锥体	1 471.0	20~67 HRC	适用于调质钢、淬火钢件等
HRB	1.588 mm 钢球	980.7	25~100 HRB	适用于软钢、退火钢、铜合金等
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4	60~85 HRA	适用于硬质合金、表面淬火钢等

各种不同标尺的洛氏硬度值不能直接进行比较,但可用实验测定的换算表相互比较。

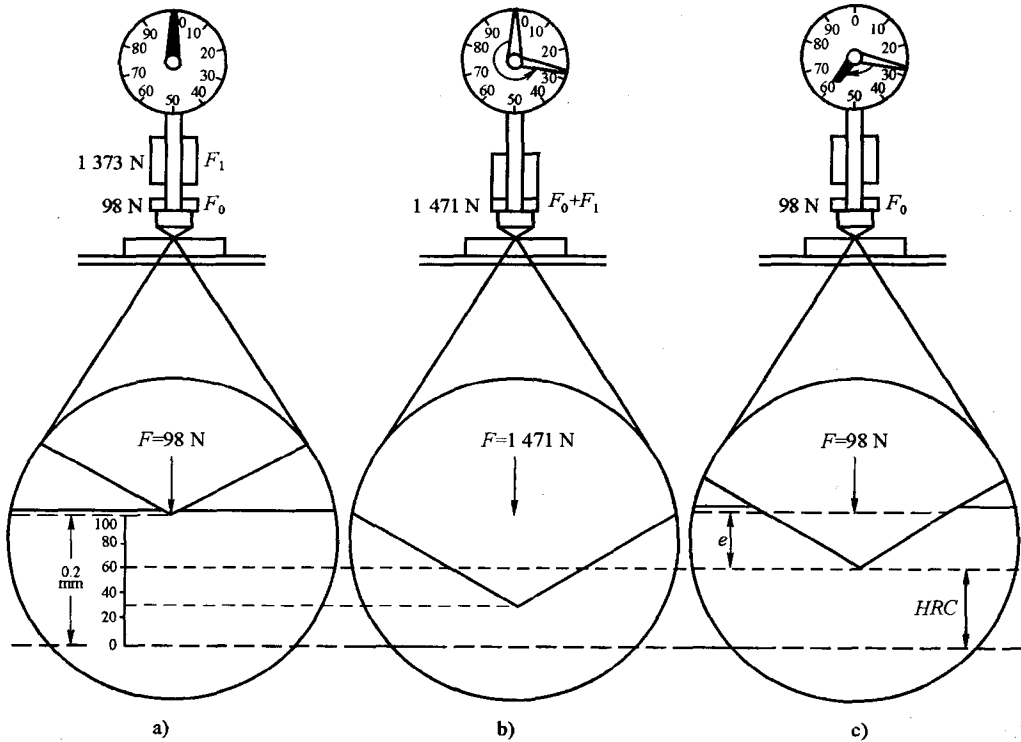


图 1-7 用金刚石圆锥体压头试验示意图

a) 加初始试验力 F_0 ; b) 加总试验力 $F_0 + F_1$; c) 卸除主试验力 F_1

③优缺点:洛氏硬度试验的优点是操作简单、迅速,能直接从刻度盘上读出硬度值;压痕较小,可以测定成品及薄的工件;测试的硬度值范围大,可测从很软到很硬的材料。其缺点是压痕较小,当材料的内部组织不均匀时,硬度数据波动较大,使测量值的代表性不足,通常需要在不同部位测试数次,取其平均值来代表材料的硬度。

(3) 维氏硬度 维氏硬度 (Vickers hardness) 试验原理基本上和布氏硬度试验相同,如图 1-8 所示。将相对面夹角为 136° 的正四棱锥体金刚石压头,以选定的试验力压入试样表面,经规定保持时间后卸除试验力,用测量压痕对角线的长度来计算硬度。即用正四棱锥形压痕单位表面积上承受的平均压力代表维氏硬度值。计算公式如下:

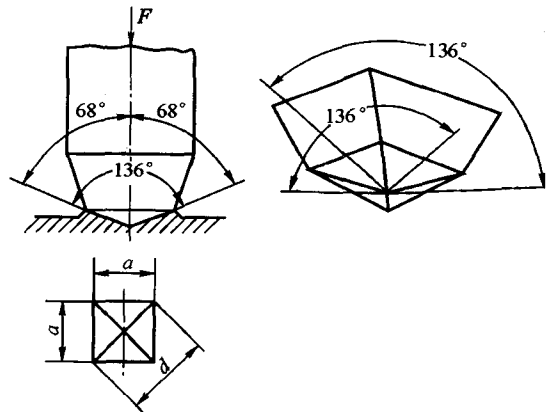


图 1-8 维氏硬度试验原理示意图

$$HV = 0.1891 \frac{F}{d^2}$$

式中: HV 为维氏硬度值; F 为试验力, N ; d 为压痕两对角线长度的算术平均值, mm 。