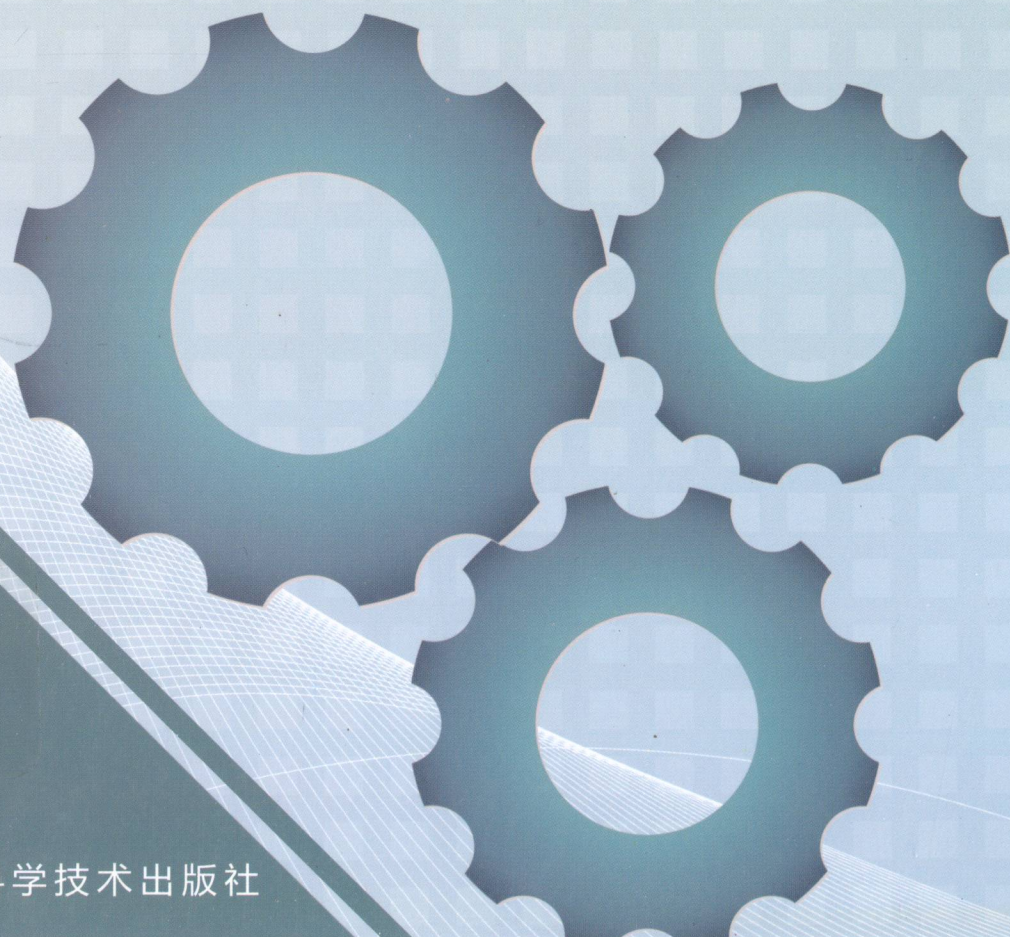




JIXIE ZHIZAO JICHU

机械制造基础

张晓妍 主编



“十二五” 高职高专机电类专业规划教材

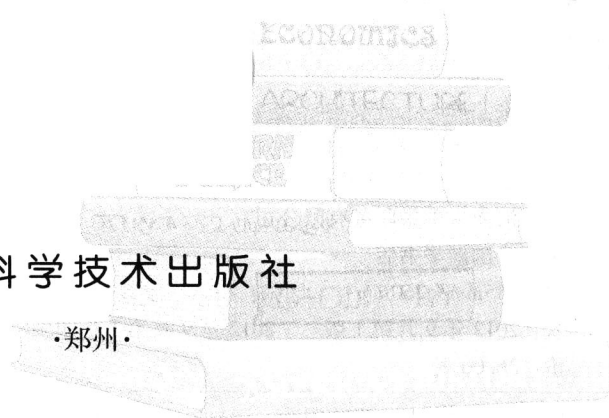
机械制造基础

张晓妍 主编



河南科学技术出版社

·郑州·



内 容 提 要

本教材是依据教育部“高职高专技能型人才培养方案”的教学要求,根据高等职业教育的教学特点和办学实际,结合近年来高等职业教育教学改革发展的成果而编写的。本教材具体介绍了金属材料的力学性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、钢及其应用、铸铁、有色金属及其合金、非金属材料、铸造、锻压、焊接、金属切削加工基础、机械加工方法与设备、零件材料与加工工艺的选择、先进制造技术等内容,共分15章,每章后附有概括性的小结和适量的思考与练习。

本教材可供高职高专机械类、机电类(机电一体化、数控技术应用、模具设计制造等)或近机类专业使用,也可作为成人教育、员工职业教育的培训用书。

430347

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/张晓妍主编. —郑州:河南科学技术出版社, 2012. 9
(“十二五”高职高专机电类专业规划教材)
ISBN 978 - 7 - 5349 - 5454 - 2

I. ①机… II. ①张… III. ①机械制造 - 高等职业教育 - 教材 IV.
①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 004150 号

出版发行: 河南科学技术出版社

地址: 郑州市经五路 66 号 邮编: 450002

电话: (0371) 65737028 65788613

网址: www.hnstp.cn

策划编辑: 孙 彤

责任编辑: 张 恒

责任校对: 马晓灿

封面设计: 李 冉

版式设计: 栾亚平

责任印制: 朱 飞

印 刷: 河南省中景印务有限公司

经 销: 全国新华书店

幅面尺寸: 185mm × 260mm 印张: 19 字数: 448 千字

版 次: 2012 年 9 月第 1 版 2012 年 9 月第 1 次印刷

定 价: 36.00 元

如发现印、装质量问题,影响阅读,请与出版社联系并调换。

序

近年来,我国高等职业教育的规模,无论是院校数量还是学生数量,都占据了高等教育总规模的半壁江山。高等职业教育是高等教育的一种新类型,承担着为我国走新型工业化道路、调整经济结构和转变增长方式培养高综合素质、高技能人才的任务。随着我国经济建设步伐的加快,特别是随着我国由制造大国向制造强国的转变,现代制造业对高综合素质、高技能专业人才的需求更为迫切。用人单位对劳动力的选择将不再仅凭一张文凭,而要看学生是否具有实际操作能力。面对这一形势,高职高专院校的机电类专业根据市场和社会需要,开展教学研究和改革,更新教学内容,改进教学方法,推进精品专业、精品课程和教材建设,取得了丰硕的成果。课程设置越来越贴近社会需求和个体需求,专业课程与职业资格证书衔接,增设了大量的专业选修课程和技能课程,完善了实训课程体系,这一切都较好地反映了劳动力市场的变化、学生择业观念的更新。及时总结这些成果并以教材形式予以体现,推广至更多的院校,无疑是一件意义深远的事情。为了适应高职高专教学改革的需要,鼓励教师编写富有特色的教材,促进高职高专机电类专业教学质量的不断提高,我们这几所参编院校在河南科学技术出版社出版的《“十一五”高职高专机电类专业规划教材》基础上,总结了经验和教训,并进一步强调创新的理念,组织编写了这套《“十二五”高职高专机电类专业规划教材》。

本套教材基本涵盖了高职高专机电类专业的专业基础课、主干专业课和实训课,是按照高等职业教育“以服务为宗旨,以就业为导向”的指导思想和培养高综合素质、高技能人才的基本要求编写的。它对传统的课程体系和教学内容进行了整合和更新,精简了理论内容,突出了专业技能和理论知识应用能力的培养,缩小了学生专业技能与生产一线需求的差距,进一步体现了高等职业教育的人才培养特色。

参加本套教材编写的作者都是长期从事高职高专教学工作的教师,他们对高等职业技术人才的培养、对机电类专业的课程体系和教学改革具有深刻的理解和思考,在教学实践中积累了丰富的经验。从某种意义上说,本套教材是有关高职高专院校机电类专业多年教学改革成果的体现和凝集,相信它必将在今后的高职高专教学工作中发挥积极而重要的作用。

彭志宏

2010年1月18日

“十二五” 高职高专机电类专业规划教材 编审委员会名单

主 任 彭志宏

副主任 (按姓氏笔画排序)

王建庄	巴玉强	宁玉伟	肖 珑
宋海军	张 勤	赵 军	徐国强
高士忠	郭建庄	唐建生	董作霖

委 员 (按姓氏笔画排序)

王建勋	王晓峰	许万有	李小强
李新德	张 池	张延萍	张晓妍
张海英	赵章吉	俞佳芝	郭斌峰
鲍 莉	蔡振伟		

前 言

本教材依据教育部“高职高专技能型人才培养方案”的教学要求,从高等职业教育教学的特点和办学实际出发,结合近几年来高等职业教育教学发展改革的成果,注重科学性、实践性、应用性、创新性,做到基本概念准确、清晰,基本理论够用,强调理论与生产实际紧密结合,强化解决实际问题能力的培养,以达到学以致用目的。

本教材在结构设计上将工程材料与各种工艺加以融合,在内容上增加了新工艺、新技术、新材料的应用等,以体现最新科研成果和先进制造技术,还以学生就业所需的专业知识和操作技能为着眼点,在适宜的基础知识与理论体系覆盖下,重点介绍应用型人才培养所需的内容和关键点,突出实用性和可操作性,着重培训学生解决问题的能力。同时,把理论内容与实训、实验结合起来,通过实际案例分析,形成独特的教材体系。

本教材介绍了金属材料的力学性能、金属的晶体结构与结晶、铁碳合金、钢的热处理、钢及其应用、铸铁、有色金属及粉末冶金材料、非金属材料、铸造、锻压、焊接、金属切削加工基础、机械加工方法与装备、零件材料与加工工艺的选择、先进制造技术等内容,共计15章,每章后附有概括性的小结和适量的思考与练习。

本教材由张晓妍担任主编,由刘云豫、苏静、杨雪玲担任副主编,由唐建生担任主审。本教材编写具体分工如下:第1、13章由刘旸编写,第2、11章由朱成俊编写,第3、18章由郭辉编写,第4、10章由苏静编写,第5、14章由刘云豫编写,第6、9、15章由张晓妍编写,第7、12章由杨雪玲编写。

在编写本教材的过程中参阅了大量的相关文献和资料,在此向有关作者表示衷心感谢!

由于编者的水平和经验有限,教材中可能存在错误或不妥之处,敬请广大读者和同行批评指正,以便不断改进与完善。

编 者

2012年3月

《机械制造基础》编写人员

主 编 张晓妍

副主编 刘云豫 苏 静 杨雪玲

编 者 (按姓氏笔画排序)

朱成俊 刘 旻 刘云豫 苏 静

杨雪玲 张晓妍 郭 辉

主 审 唐建生

目 录

第1章 金属材料的力学性能	(1)
1.1 强度和塑性	(1)
1.2 硬度	(4)
1.3 冲击韧性	(7)
1.4 疲劳强度	(8)
小结	(9)
思考与练习	(9)
第2章 金属的晶体结构与结晶	(10)
2.1 金属的晶体结构	(10)
2.2 金属的实际晶体结构	(11)
2.3 合金的晶体结构	(13)
2.4 纯金属的结晶	(15)
2.5 合金的结晶	(17)
小结	(17)
思考与练习	(17)
第3章 铁碳合金	(18)
3.1 铁碳合金的基本组织	(18)
3.2 铁碳合金相图	(20)
3.3 铁碳合金成分、组织性能之间的关系	(27)
3.4 铁碳合金相图的应用	(29)
小结	(30)
思考与练习	(31)
第4章 钢的热处理	(32)
4.1 钢在加热时的组织转变	(32)
4.2 钢在冷却时的组织转变	(34)
4.3 钢的热处理工艺	(41)
4.4 钢的表面热处理与化学热处理	(48)
4.5 热处理工艺的应用实例	(51)



4.6 热处理新技术简介	(53)
小结	(54)
思考与练习	(54)
第5章 钢及其应用	(56)
5.1 钢铁材料的生产	(56)
5.2 杂质元素对钢的影响	(57)
5.3 合金元素在钢中的作用	(57)
5.4 钢的分类及编号	(61)
5.5 非合金钢	(63)
5.6 低合金钢	(68)
5.7 合金结构钢	(70)
5.8 合金工具钢	(81)
5.9 特殊性能钢	(92)
5.10 新型钢材	(97)
小结	(99)
思考与练习	(100)
第6章 铸铁	(101)
6.1 概述	(101)
6.2 铸铁的石墨化	(101)
6.3 常用铸铁	(103)
6.4 特殊性能铸铁	(111)
小结	(111)
思考与练习	(111)
第7章 有色金属及粉末冶金材料	(113)
7.1 铝及其合金	(113)
7.2 铜及其合金	(119)
7.3 粉末冶金材料	(124)
小结	(131)
思考与练习	(132)
第8章 非金属材料	(134)
8.1 高分子材料	(134)
8.2 陶瓷材料	(141)
8.3 复合材料	(144)
小结	(146)
思考与练习	(147)
第9章 铸造	(148)
9.1 概述	(148)
9.2 砂型铸造	(149)
9.3 金属的铸造性能	(153)

9.4	铸造工艺设计	(155)
9.5	铸件的结构工艺性	(159)
9.6	特种铸造	(163)
9.7	铸造工艺设计实例	(168)
9.8	铸造新技术简介	(169)
	小结	(171)
	思考与练习	(171)
第 10 章	锻压	(172)
10.1	概述	(172)
10.2	自由锻	(175)
10.3	模锻	(181)
10.4	板料冲压	(188)
10.5	锻压新工艺新技术	(190)
	小结	(192)
	思考与练习	(192)
第 11 章	焊接	(194)
11.1	概述	(194)
11.2	焊条电弧焊	(195)
11.3	其他焊接方法	(203)
11.4	焊接结构工艺设计	(209)
11.5	焊接新技术	(212)
	小结	(212)
	思考与练习	(213)
第 12 章	金属切削加工基础	(214)
12.1	切削运动与切削要素	(214)
12.2	金属切削刀具	(216)
12.3	金属切削过程	(218)
12.4	金属切削机床的分类与型号	(221)
	小结	(223)
	思考与练习	(223)
第 13 章	机械加工方法与设备	(224)
13.1	车削	(224)
13.2	铣削	(227)
13.3	钻削和镗削	(232)
13.4	磨削	(235)
13.5	刨削与拉削	(239)
	小结	(241)
	思考与练习	(241)
第 14 章	零件材料与加工工艺的选择	(243)



14.1	零件的失效分析	(243)
14.2	选材的原则及方法	(246)
14.3	零件毛坯的选择	(250)
14.4	零件热处理的技术条件和工序位置	(252)
14.5	典型零件材料和毛坯的选择及加工工艺分析	(256)
	小结	(261)
	思考与练习	(262)
第 15 章	先进制造技术	(263)
15.1	概述	(263)
15.2	数控加工	(264)
15.3	精密（超精密）与高速（超高速）加工	(266)
15.4	柔性制造系统	(269)
15.5	计算机集成制造系统	(272)
15.6	其他新制造技术	(274)
	小结	(277)
	思考与练习	(277)

第1章 金属材料的力学性能

工程材料主要是指在机械、交通运输、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等领域中用来制造构件和零件的材料，包括用于制造工具的材料和具有特殊性能（如耐蚀、耐高温等）的材料。工程材料的性能分为使用性能和工艺性能，如图1-1所示。使用性能是指材料保证工件正常工作应具备的性能，包括力学性能、物理性能、化学性能等。材料使用性能的好坏决定其使用寿命和应用范围。工艺性能是指材料适应各种加工的性能，包括铸造性能、锻压性能、焊接性能、切削性能等。材料工艺性能直接影响构件和零件的制造方法和制造成本。

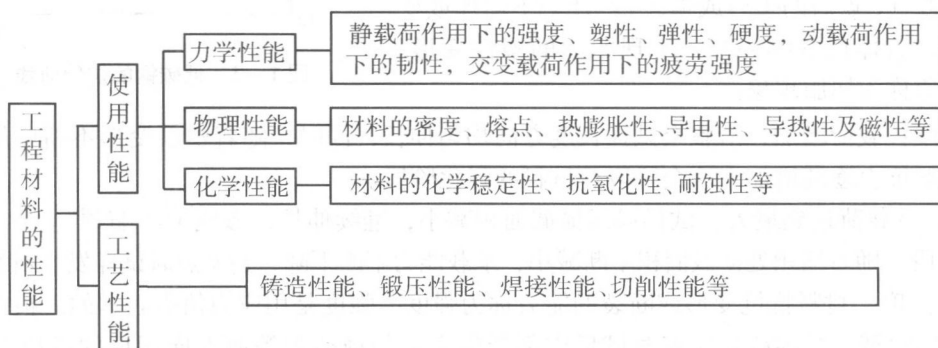


图 1-1 工程材料的性能

金属材料是最重要的工程材料之一，包括金属和以金属为基的合金。工业上把金属及其合金分为两大部分：黑色金属（铁及以铁为基的合金）和非铁金属（黑色金属以外的所有金属及其合金）。

金属材料的力学性能是指金属材料在不同环境（温度、介质）下，在各种载荷（拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等）作用下，抵抗变形或断裂的能力，亦称机械性能，包括强度、塑性、硬度、冲击韧性、疲劳强度等。金属材料的力学性能是评价金属材料的主要指标，是设计和选材的重要依据。

1.1 强度和塑性

1.1.1 强度

1. 拉伸试验 金属的强度、塑性一般可通过拉伸试验来测定。在试验时，将金属材料制作成一定的尺寸和形状的标准试样，如图1-2所示。图中， d_0 是试样的直径， L_0 是标

距。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($L_0 = 5d_0$)。

将试样装夹在拉伸试验机上,对试样施加拉力,在拉力不断增加的过程中,观察试样的变化,直至把试样拉断。根据试样在拉伸过程中承受的载荷与产生的轴向变形量(试样伸长量)之间的关系,可绘出该金属的拉伸曲线,并由此表征该金属的强度及塑性。

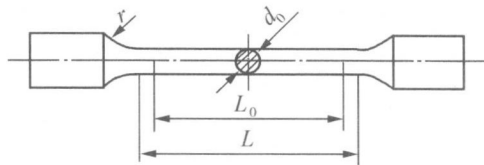


图 1-2 圆形拉伸试样

2. 拉伸曲线 根据拉伸过程中载荷 F 与试样的伸长量 ΔL 之间的关系,可以绘制出金属的拉伸曲线。图 1-3 所示为低碳钢的拉伸曲线,拉伸过程可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

Op 段:试样的伸长量与载荷成正比关系,完全符合胡克定律,试样处于弹性变形阶段。

pe 段:伸长量与载荷不再成正比关系,拉伸曲线不是直线,试样仍处于弹性变形阶段。

es 段(e 点后的平台或锯齿):外力不增加或变化不大,试样仍继续伸长,出现明显的塑性变形,这种现象称为屈服现象。

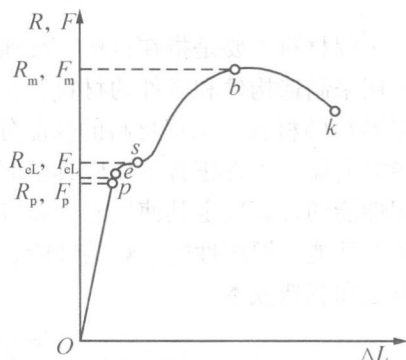


图 1-3 低碳钢的拉伸曲线

sb 段:载荷增加,沿整个试样长度方向均匀伸长;同时,随着塑性变形不断增加,试样的变形抗力逐渐增加。这个阶段是材料的强化阶段。

b 点:载荷达到最大,试样局部横截面积减小,继续伸长,形成了“缩颈”。

bk 段:随着缩颈处横截面积不断减小,承载能力不断下降,到 k 点时试样发生断裂。

3. 强度 材料抵抗变形或断裂的能力称为强度。强度是用应力值来表示的。根据力的相互作用原理,受到载荷作用时试样内部产生大小与载荷相等而方向相反的抵抗力(内力)。单位横截面积上的内力称为应力,用 R 表示,单位为 MPa。常用的强度指标主要有屈服强度、条件屈服强度、抗拉强度等。

(1) 屈服强度与规定残余伸长应力:

1) 屈服强度:材料在刚开始产生塑性变形时的最小应力称为屈服强度,用 R_{el} 表示,有如下关系:

$$R_{el} = \frac{F_{el}}{S_0}$$

式中, F_{el} 为金属开始发生明显塑性变形时的最小载荷, N; S_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

屈服强度表示金属材料对微量塑性变形的抵抗能力,是最重要力学性能指标之一。一般零件或构件在使用中不允许产生过量塑性变形,因此 R_{el} 是设计和选材的主要依据之一。

2) 规定残余伸长应力:低塑性材料或脆性材料在拉伸试验中没有明显的屈服现象,也不产生缩颈,难以测出其屈服强度,此时可用规定残余伸长应力代替屈服强度。规定残余伸长应力是指试样卸除拉伸力后,其试样标距部分的残余伸长量(塑变量)为试样原始

标距的 0.2% 时的应力, 用 $R_{0.2}$ 表示, 如图 1-4 所示。

(2) 抗拉强度: 材料在被拉断前所能承受的最大应力称为抗拉强度, 用 R_m 表示, 有如下关系:

$$R_m = \frac{F_m}{S_0}$$

式中, F_m 为材料断裂前所能承受的最大载荷, N; S_0 为试样的原始横截面积, mm^2 。

R_m 也是设计和选材的主要依据之一, 也是材料主要力学性能指标之一, 对于没有塑性变形的材料尤为重要。

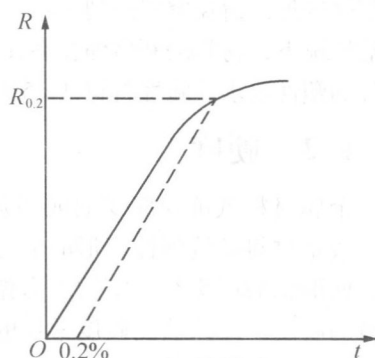


图 1-4 规定残余伸长应力

(3) 强度的意义: 强度是金属材料的重要性能指标。一般构件或零件在使用时不允许发生塑性变形, 这就要求选用的零件受到的工作应力必须小于其屈服强度, 因此设计与选材的主要依据是屈服强度 R_{eL} 或规定残余伸长应力 $R_{0.2}$ 。而抗拉强度 R_m 表示金属材料抵抗拉伸断裂的能力, 因此它是评定金属材料性能的重要参考指标。若工作应力大于抗拉强度, 则构件或零件会发生断裂而造成事故。工程上还通过计算屈强比 (R_{eL}/R_m) 来判别材料强度的利用率, 屈强比越小, 构件或零件的可靠性越高, 但屈强比不能太小 (太小时材料的强度利用率太低), 屈强比大, 材料性能使用效率高。因此, 在实际应用时要根据具体情况考虑, 一般金属材料的屈强比以 0.75 为宜。

1.1.2 塑性

金属材料在外力作用下发生塑性变形但不断裂的能力称为塑性。塑性指标主要是断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 。

1. 断后伸长率 断后伸长率是指试样断后标距的伸长量 ΔL 与原始标距 L_0 的百分比, 用 A 表示, 有如下关系:

$$A = \frac{L_u - L_0}{L_0} \times 100\%$$

式中, L_u 为试样断后的标距, mm; L_0 为试样的原始标距, mm。

试样的标距对金属材料的断后伸长率 A 是有影响的。对于同种材料, 用长、短试样测得的断后伸长率是不同的, 它们之间不能直接比较。因为 L_u 是试样的均匀伸长和产生缩颈后局部伸长的总和, 相对来说, 短试样中缩颈的伸长量占总伸长量的比例大, 所以短试样的断后伸长率较大。

2. 断面收缩率 断面收缩率是指试样断后断口处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 用 Z 表示, 有如下关系:

$$Z = \frac{S_0 - S_u}{S_0} \times 100\%$$

式中, S_u 为试样断后断裂处的最小横截面积, mm^2 ; S_0 为试样的原始横截面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 比较准确地反映了材料的塑性。

3. 塑性的意义 金属材料的断后伸长率 A 和断面收缩率 Z 越大, 说明该材料的塑性变形量越大, 即塑性越好。金属材料的塑性好坏是决定其能否进行塑性加工的必要条件。塑性好的材料不仅可进行轧制、锻压等塑性加工, 而且在使用中偶尔受载荷过大时可以通过产

生塑性变形来避免突然断裂,在一定程度上保证了构件或零件的工作安全,增加了可靠性。一般情况下,材料的断后伸长率 A 达到 5% 或断面收缩率 Z 达到 10%, 即可满足多数构件或零件的塑性要求。脆性材料 $A < 5\%$, 韧性材料 $A = 5\% \sim 10\%$, 塑性材料 $A > 10\%$ 。

1.2 硬度

金属材料抵抗局部变形或破坏的能力称为硬度。硬度是衡量金属材料软硬程度的指标,表示材料抵抗塑性变形的能力。目前,机械制造生产中常用压入法测定硬度,即将一定几何形状的压头在一定的压力作用下压入金属材料的表面,根据压头压入的程度来测定材料的硬度。压入法测硬度常用的方法有布氏硬度、洛氏硬度、维氏硬度等。

1.2.1 布氏硬度

布氏硬度测量法测得的压痕面积较大,能较好地反映材料的平均硬度,测量数据稳定性好,但由于压痕面积较大,不适合测量成品及薄片金属,主要用于原材料或半成品的硬度测量。布氏硬度测量法目前主要用于测量经过退火、正火、调质处理的钢材以及非铁金属(如铝合金等)、铸铁等金属材料。

1. 布氏硬度的测试原理 如图 1-5 所示,用一定直径的淬火钢球或硬质合金球做压头,在一定载荷 F 作用下压入被测材料的表面,保持一定时间后卸除载荷,测量被测试样表面的压痕直径 d ,计算出压痕的球面面积 S ,再算出压痕单位面积上所承受的平均压力,该值即为被测金属的布氏硬度值,用 HBS 或 HBW 表示。习惯上只写出硬度的数值,不标注单位。布氏硬度值的计算公式为

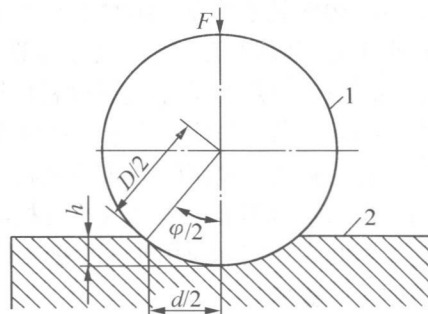


图 1-5 布氏硬度测试原理

1 - 压头 2 - 试样

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

式中, D 为压头直径, mm; d 为压痕直径, mm; F 为外加载荷, N。

由上式可知,只有 d 是变量,用读数显微镜测量 d 的数值,查表可确定布氏硬度值。在实际应用中,布氏硬度值一般不用计算,只需量出压痕的直径,并以此在专门的硬度数据表中直接查出。

金属材料的硬度不同、厚度不同,在布氏硬度试验时就要求使用不同的试验压力、不同直径的压头,布氏硬度的试验规范如表 1-1 所示。

2. 布氏硬度的表示方法 当压头为淬火钢球时,布氏硬度用 HBS 表示,适用于布氏硬度值在 450 以下的材料;当压头为硬质合金球时,用 HBW 表示,适用于布氏硬度值为 450 ~ 650 的材料。符号 HBS 或 HBW 之前为硬度值,符号后面按压头直径、试验压力、试验压力保持时间的顺序用数字表示试验条件。

例如:120HBS10/1000/30 表示用直径 10mm 的淬火钢球在 1000kgf (千克力,非法定计量单位,因需要沿用。1kgf = 9.8N,下同) 试验压力的作用下压入试样表面并保持 30s,测得的布氏硬度值为 120;500HBW5/750/20 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 750kgf 试验压力

的作用下压入试样表面并保持 20s, 测得的布氏硬度值为 500。采用直径为 10mm 的压头、试验压力为 3000kgf、保持时间为 10~15s 的常规试验条件一般不需标明。

表 1-1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度范围	压头直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验压力 F/N	试验压力保持时间 t/s	备注
钢、铸铁	≥ 140	10	30	29420	10	压痕中心距试样边缘不应小于压痕平均直径的 2.5 倍；两相邻压痕中心距离不应小于压痕平均直径的 4 倍；试样厚度至少应为压痕深度的 10 倍。试验后试样支承面应无可见变形痕迹
		5		7355		
		2.5		1839		
	< 140	10	10	9807	10 ~ 15	
		5		2452		
		2.5		613		
非铁金属材料	≥ 130	10	30	29420	30	
		5		7355		
		2.5		1839		
	35 ~ 130	10	10	9807	30	
		5		2452		
		2.5		613		
	< 35	10	2.5	2452	60	
		5		613		
		2.5		153		

3. 布氏硬度的适用范围 布氏硬度试验测量压痕面积较大, 能反映出较大范围内被测试金属的平均硬度, 故试验结果较准确, 适合测量组织粗大且不均匀的金属材料 (如铸铁、铸钢)、非铁金属材料及各种退火、正火或调质处理后的钢材等毛坯或半成品的硬度。不适合测试成品或薄片金属的硬度。

1.2.2 洛氏硬度

洛氏硬度试验法是指用顶角为 120° 的金刚石圆锥压头或直径为 1.588mm 的淬火钢球做压头, 先加预载荷再加主载荷将压头压入被测金属材料的表面 (此时载荷为预载荷、主载荷之和), 维持规定时间后卸去主载荷、保持预载荷, 测量压头压入的残余压痕深度, 计算确定硬度值。洛氏硬度用 HR 表示。实际测量时, 可以从硬度试验机的表盘上直接读出洛氏硬度值。

1. 洛氏硬度的测试原理 如图 1-6 所示, 压头起始位置为 0-0; 施加预载荷, 使压头与被测金属表面之间有良好的接触, 此时压头位置为 1-1, 压入深度为 h_0 , 此处为测量的基准; 再施加主载荷, 使压头压到最深处, 此时压头位置为 2-2, 压入深度为 h_1 ; 卸去主载荷, 由于被测金属试样的弹性变

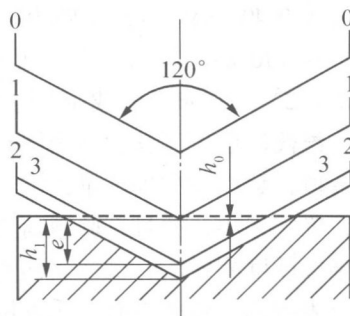


图 1-6 洛氏硬度测试原理

形恢复,压头略微提高,位置为3-3,测得的压痕深度增量就是基准与压头顶点最后位置之间的距离,用 e 表示。 e 越大,被测金属的硬度越小。洛氏硬度值计算如下:

$$HR = (K - e) / 0.002$$

式中, K 为常数,用金刚石圆锥体压头试验时为0.2mm,用淬火钢球压头试验时为0.26mm; e 为压痕深度,mm;用0.002压痕深度作为一个硬度单位。

2. 洛氏硬度的表示方法 为了能用同一台硬度计测定从软到硬不同金属材料的硬度,可采用不同的压头和载荷组成几种不同的洛氏硬度标尺,常用的是A、B、C三种,其中C标尺使用最广泛。洛氏硬度没有单位。洛氏硬度表示方法为硬度值+HR+标尺。表1-2为常用洛氏硬度试验规范及应用。

表1-2 常用洛氏硬度试验规范及应用

标尺	压头类型	总载荷/ N (kgf)	测量范围	应用举例
HRA	120°金刚石圆锥体	588.4 (60)	70 ~ 88	硬质合金,表面淬火层或渗碳层
HRB	φ1.588mm 淬火钢球	980.7 (100)	20 ~ 100	退火钢、正火钢、非铁金属等
HRC	120°金刚石圆锥体	1471 (150)	20 ~ 70	调质钢,淬火钢等

3. 洛氏硬度的适用范围 洛氏硬度测量操作简单迅速,能直接从表盘上读取硬度值,并且压痕较小,可以测定成品以及薄件,采用不同标尺可以测试从软到硬的金属材料,测定范围大。但由于压痕面积小,对内部组织不均匀的金属测得的硬度数值不够准确,通常需要在材料的不同部位进行多次测量,取其平均值。洛氏硬度各标尺之间没有直接的对对应关系,使用起来不方便,为此发展了维氏硬度试验法。

1.2.3 维氏硬度

维氏硬度试验法是将相对夹角为136°的金刚石正四棱锥压头用规定的载荷压入待测试样的表面,按照规定保持一段时间后卸去载荷,根据压痕对角线的长度计算硬度值。维氏硬度用HV表示,其原理和布氏硬度测试原理基本相同。在实际应用中,维氏硬度值不用计算,可以根据压痕对角线的长度在相应数据表中直接读取。

维氏硬度试验时所用的载荷可以根据试样的大小、厚薄等进行选择。维氏硬度常用的载荷主要有49.03N (5kgf)、98.07N (10kgf)、196.1N (20kgf)、294.2N (30kgf)、490.3N (50kgf)、980.7N (100kgf)等几种。维氏硬度的表示方法为硬度值+HV+试验条件,如640HV30表示用294.2N (30kgf)的载荷保持10~15s(可省略不标)测得的维氏硬度值为640。

维氏硬度可测软、硬金属,尤其是极薄零件和渗氮层、渗碳层的硬度,测得的压痕轮廓清晰,数值较准确。维氏硬度采用一种标尺,金属材料的硬度可以直接通过测量进行比较,确定大小,并且试验载荷可以任意选择,因此可以测量厚薄不同的金属材料的硬度。但维氏硬度测量法对试样表面要求高,不便于测定,其硬度值需要测量压痕对角线后计算或查表得到,效率没有洛氏硬度高,因此不适用于成批零件的常规检验。

由于各种硬度测量方法的试验条件不同,相互之间没有理论换算关系,所以试验结果不能直接进行比较。但根据试验结果,可以采用如下的粗略换算:硬度为200~600HB时,1HB≈10HRC;硬度小于450HB时,1HB≈1HV。