

高等院校工程训练系列教材
安徽省高等学校“十一五”省级规划教材

● 李舒连 主编 ● 岑豫皖 主审 ●

机械制造基础 工程训练

JIXIE ZHIZAO
JICHU GONGCHENG XUNLIAN

合肥工业大学出版社

教育部技工院校国家规划教材
教育部中等专业“十一五”规划教材

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械制造基础 工程训练

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

机械工业出版社 2008 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

高等院校工程训练系列教材
安徽省高等学校“十一五”省级规划教材

机械制造基础工程训练

主 编 李舒连

副主编 糜克仁 邱震明

主 审 岑豫皖

机械制造基础工程训练

李舒连 主编

李舒连 主编

出 版 社	合肥工业大学出版社	出 版 次	2008年8月第1版
地 址	合肥市屯溪路193号	印 次	2008年8月第1次印刷
邮 编	230009	开 本	787毫米×1095毫米 1/16
电 话	总编室:0521-3503038	印 张	31
发 行 部	0521-3503198	字 数	135千字
网 址	www.hitupress.com.cn	印 刷	中国科学技术大学印刷厂
E-mail	press@hitupress.com.cn	发 行	中国科学技术大学出版社

合肥工业大学出版社

ISBN 978-7-81111-361-0 定价: 36.00元

如有影响阅读的问题,请向出版社发行部联系解决。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础工程训练/李舒连主编. —合肥:合肥工业大学出版社, 2008. 8

ISBN 978-7-81093-738-2

I. 机… II. 李… III. 机械制造—高等学校—教材 IV. TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 121018 号

机械制造基础工程训练

李舒连 主编

汤礼广 责任编辑

审 主

机械制造基础工程训练

主编 李舒连

责任编辑 汤礼广

出 版	合肥工业大学出版社	版 次	2008 年 8 月第 1 版
地 址	合肥市屯溪路 193 号	印 次	2008 年 8 月第 1 次印刷
邮 编	230009	开 本	787 毫米×1092 毫米 1/16
电 话	总编室:0551-2903038 发行部:0551-2903198	印 张	21
网 址	www.hfutpress.com.cn	字 数	495 千字
E-mail	press@hfutpress.com.cn	印 刷	中国科学技术大学印刷厂
		发 行	全国新华书店

ISBN 978-7-81093-738-2

定价: 36.00 元

如果有影响阅读的印装质量问题,请与出版社发行部联系调换。

序

教育是国家发展的基石,特别是高等教育肩负着培养数以千万计的高素质专门人才和一大批拔尖创新人才的崇高使命。大力提高高等教育质量,既是高等教育自身发展的需要,也是办好让人民满意的高等教育、提高学生就业能力和创业能力的需要。在高等教育进入大众化发展的新形势下,狠抓教学质量和推进教学改革,是高等学校坚持科学发展观,全面落实党中央、国务院战略决策和部署的重要举措,是落实科教兴国战略和人才强国战略的重要组成部分。机械制造基础工程训练是工科院校量大面广的基础性、技术性和实践性必修课,是培养学生学习能力、实践能力和创新能力的训练平台,是提高教学质量的重要手段。学生通过机械制造基础工程训练,不仅能够学习和了解先进制造技术及其应用,初步掌握机械制造的基本理论和相关技能,同时还可培养学生的工程素养和创新意识。

随着高等教育人才培养模式改革的深入发展,作为高等工科院校重要实践环节之一的机械制造基础工程训练,其内涵也随之发生深刻变化。在教学理念上,由传统的技能操作型向能力、素质和创新型转变;在教学内容上,由传统技能型向传统技能与现代技术相结合的现代型方向发展;在训练方式上,由传统的金工实习型向综合性开放型工程训练拓展。在金工实习基础上融合现代制造技术发展起来的机械制造工程训练,是我们安徽工业大学重要实践性课程,也是学校重点建设课程之一。多年来,学校十分重视实践教学工作,建设了设施先进、功能齐全的实践教学基地和实习环境,建立了一支结构合理、经验丰富、素质较高的实践教学师资队伍,建构了一套适合人才培养的实践教学体系,并组建了新的工程实践与创新教育中心。多年来,工程实践中心坚持贯彻素质教育思想,积极推进实践教学改革,努力探索“大工程”背景下工程训练的教学模式和训练方法,创立了金工实习文化,开展了创新训练,并取得了明显的效

果,在2004年的本科教学水平评估中受到教育部专家组的高度评价,并在省内外产生了积极的影响。2005年中心获得一项省级重点教改课题,并经过近几年的教学改革与实践,课题研究取得了积极的成果,形成了以教学为中心,以育人为根本,突出实践能力,注重现代技术,培养创新意识,拓展训练内涵,提高工程素质的鲜明的实践教学特色。他们在认真实践和总结经验的基础上,组织了部分教师共同编写了《机械制造基础工程训练》教材。该教材依据国家教育部机械制造基础工程训练大纲,结合高校人才培养要求和自身特点,传承了传统制造技术的知识体系和经典内容,重点突出了现代制造技术知识架构和实际应用,并融入了“大工程”理念下的现代企业质量管理、现代企业先进管理技术、现代企业文化和机械制造创新训练内容,很好地体现了继承和发展的关系。

该教材内容丰富,重点突出,结构严谨,阐述明晰,符合人才培养要求,更可喜的是该教材已被选为安徽省高等学校“十一五”省级规划教材。本教材的编写和出版,是工程实践中心教师们集体智慧的结晶,也是实践教学改革的成果。相信随着实践教学改革的深入推进,该教材会不断丰富和完善。

安徽工业大学校长、教授 岑豫皖

2008年7月

前 言

高等教育肩负着培养数以千万计的高素质专门人才和一大批拔尖创新人才的崇高使命,大力加强高等学校实践教学改革,推进实践教学内容、方法、手段、队伍、管理及实践教学模式的改革创新,是培养专门人才和创新人才以及提高本科教学质量的重要内容和途径。机械制造基础工程训练是工科院校量大面广的基础性和技术性实践课程,是培养学生学习能力、实践能力和创新能力的训练平台。学生通过机械制造基础训练,可以初步掌握机械制造的基本理论和相关技能,学习和了解先进制造技术及其应用,同时还可以培养学生的工程素养和创新意识。

随着高等教育教学改革的深入发展,作为工科院校重要实践环节之一的机械制造工程训练,其内涵也随之发生深刻变化。在教学理念上,由传统的技能操作型向能力、素质和创新型方面转变;在实习内容上,由传统技能型向传统技能与现代技术相结合的现代型方式转变;在训练方式上由传统的金工实习型向着综合性开放型的工程训练拓展。近几年来,我们结合安徽省重点教改课题《关于选课制下金工实习教学内容和教学模式改革的研究与实践》所进行的研究,在实践教学改革方面作了一些有益的探索与实践,并取得了积极的成果。基于多年来实践教学改革的深入研究和成功实践,我们组织了部分教师共同编写了《机械制造基础工程训练》教材。编写本教材的目的是教授学生领会机械制造基本知识,指导学生初步掌握机械制造的基本技能,引领学生了解先进制造技术及其应用,引导学生了解现代企业先进管理技术和企业文化,拓宽学生的视野,帮助学生建立“大工程”理念和创新意识。

本教材依据国家教育部机械制造基础工程训练大纲要求,并结合工科院校人才培养模式和自身特点进行编写,力图体现以下特色:

- (1)保留传统制造技术的知识体系和主要内容,体现理论知识的完整性;
- (2)突出现代制造技术知识架构和实际应用,体现教学内容的先进性;
- (3)增加机械制造创新训练内容,体现训练方式的创新性;
- (4)融入“大工程”理念下的现代企业质量管理、先进管理技术、企业文化等内容,体现工程训练的综合性。

本书由李舒连主编并统稿。参加编写的人员有糜克仁(第1章~第4章、第9章~第13章),邱震明(第5章~第8章),李舒连(第14章~第18章)。另外,万巍参加了部分章节的编写;杨琦参加了书稿的整理工作;张慨、蔡其奕、蔡正清、吴建华、郭满荣、龙珍珠、凌莉等老师参加了书稿的审核和校对工作,并提出了一些修改意见。

安徽工业大学校长岑豫皖教授在百忙之中,欣然承担了全书的审读工作,并提出了不少宝贵意见,我们谨向其表示崇高敬意。

本书在编写出版过程中,还得到了安徽工业大学教务处和合肥工业大学出版社的大力支持和帮助,在此,我们表示衷心感谢。

尽管我们作了很大努力,但由于水平所限,书中难免存在错漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2008年6月

目 录

上篇 机械制造基础

第 1 章 工程材料及金属(钢)的热处理	(2)
1.1 机械工程材料概述	(2)
1.2 金属(钢)的热处理	(9)
第 2 章 铸造成形技术	(15)
2.1 铸造成形技术概述	(15)
2.2 砂型铸造	(15)
2.3 模样和芯盒	(21)
2.4 金属的熔炼	(22)
2.5 特种铸造	(24)
2.6 铸造先进技术及其发展趋势	(27)
第 3 章 锻压成形技术	(29)
3.1 锻压成形概述	(29)
3.2 锻造成形	(29)
3.3 自由锻	(30)
3.4 胎模锻	(33)
3.5 模型锻造	(34)
3.6 冲压	(35)
3.7 锻压技术的发展及新工艺简介	(38)
第 4 章 焊接成形技术	(41)
4.1 焊接概述	(41)
4.2 焊条电弧焊(手工电弧焊)	(42)
4.3 气焊	(47)
4.4 其他焊接方法	(48)
4.5 切割	(51)
4.6 焊接缺陷和焊接变形	(52)
4.7 焊接先进技术及其发展	(53)

第 5 章 切削加工基础知识	(55)
5.1 切削运动与切削用量	(55)
5.2 常用金属切削机床分类与编号	(57)
5.3 刀具材料	(59)
5.4 切削过程与控制的基本知识	(61)
5.5 机械加工零件的技术要求简介	(67)
5.6 常用量具简介	(71)
第 6 章 车削加工技术	(77)
6.1 概述	(77)
6.2 卧式车床	(78)
6.3 车刀	(80)
6.4 车床夹具及使用	(83)
6.5 车床操作要点	(89)
6.6 基本车削工作	(93)
6.7 车削加工实习作业件	(104)
第 7 章 铣削、刨削和磨削加工技术	(106)
7.1 铣削加工	(106)
7.2 齿形加工简介	(116)
7.3 刨削加工	(118)
7.4 磨削加工	(124)
第 8 章 钳工加工技术	(135)
8.1 概述	(135)
8.2 划线	(136)
8.3 锯削	(141)
8.4 锉削	(144)
8.5 钻孔、扩孔、铰孔和铰孔	(148)
8.6 攻螺纹与套螺纹	(154)
8.7 刮削	(156)
8.8 装配的基本知识	(160)
中篇 先进制造技术基础	
第 9 章 先进制造技术简介	(167)
9.1 先进制造技术基本概念	(167)

9.2	先进制造技术的特征	(167)
9.3	先进制造技术的体系结构	(168)
9.4	先进制造技术的分类	(169)
9.5	先进测量技术	(171)
9.6	先进制造技术的发展方向	(172)
第 10 章	计算机辅助设计与制造技术	(174)
10.1	计算机辅助设计与制造技术(CAD/CAM)的基本概念	(174)
10.2	二维设计软件 CAXA 电子图板的使用	(175)
10.3	CAD/CAM 一体化软件: CAXA 制造工程师	(187)
10.4	三维创新设计和 CAXA 实体设计	(207)
第 11 章	数控加工技术	(228)
11.1	数控加工技术概述	(228)
11.2	数控车削加工	(254)
11.3	数控铣削加工	(261)
11.4	SKDX5060B 高速数控雕铣机	(269)
11.5	数控加工中心及柔性制造系统	(273)
11.6	数控加工仿真的应用	(274)
第 12 章	特种加工技术	(279)
12.1	特种加工概述	(279)
12.2	DK7725 数控线切割机	(282)
第 13 章	快速原型制造技术和反求(逆向)工程	(286)
13.1	快速原型制造技术	(286)
13.2	反求(逆向)工程	(288)

下篇 机械制造综合训练

第 14 章	机械制造工艺基础与综合训练	(292)
14.1	机械制造工艺基础概述	(292)
14.2	机械制造生产纲领和生产类型	(293)
14.3	毛坯的选择	(294)
14.4	工艺路线的拟定	(294)
14.5	机械加工工艺规程	(295)
14.6	典型零件的加工工艺	(296)

第 15 章 机械制造创新训练	(300)
15.1 概述	(300)
15.2 机械创新设计的基本过程	(300)
15.3 机械创新设计的特点	(301)
15.4 创新设计过程中的思维方法	(301)
15.5 机械设计制造创新训练	(302)
15.6 反求设计创新法及其在机械设计制造训练中的应用	(303)
15.7 机械制造创新实践训练	(304)
第 16 章 现代企业质量管理	(306)
16.1 概述	(306)
16.2 全面质量管理	(306)
第 17 章 先进生产模式与管理技术	(310)
17.1 概述	(310)
17.2 精益生产(lean production—LP)	(310)
17.3 敏捷制造(agile manufacturing—AM)	(311)
17.4 并行工程(concurrent engineering—CE)	(311)
17.5 虚拟制造技术(virtual manufacturing—VM)	(312)
17.6 智能制造技术(intelligent manufacturing—IM)	(312)
17.7 机械制造系统物流技术	(313)
第 18 章 现代企业文化	(316)
18.1 企业文化的概念	(316)
18.2 企业文化的要素	(316)
18.3 企业文化的内容	(317)
18.4 企业的功能	(318)
18.5 企业的结构	(319)
18.6 企业文化建设的原则与途径	(319)
附录:数控加工指令对照表	(322)
参考文献	(326)

上篇 机械制造基础

第1章 工程材料及金属(钢)的热处理

【实训目的与要求】

- (1)了解金属材料的分类、牌号、力学性能及用途;
- (2)了解常用热处理工艺知识;
- (3)了解金属表面处理知识;
- (4)了解非金属材料基本知识及其应用。

1.1 机械工程材料概述

材料是国民经济和社会发展的重要物质基础,机械工程材料又是机械制造业的重要物质支撑。材料对国民经济和社会发展有着重要而深远的影响。

材料一般可分为金属材料、非金属材料、复合材料三大类,其中金属材料由于其特有的力学性能,成为冶金、电子、机械、造船、汽车等制造业最常用的材料。

科学技术进步是材料工业发展的强大动力,推动着新材料的不断创新和发展。石化工业的发展促进了合成材料的兴起和应用,以塑料为主体的有机高分子材料(聚合物)在工程材料中占有重要的地位,并得到广泛应用。

1.1.1 金属材料

1. 金属材料的分类

金属材料包括钢铁材料(黑色金属)和非铁材料(有色金属)两种。

(1)钢铁材料是指以铁或以铁为基体,含有不同碳的质量分数(ω_c ,俗称含碳量)的合金。钢铁材料资源充足,价格较低,应用广泛,约占各种金属材料使用量的90%以上。常用的钢铁材料分为钢和铸铁两大类。

钢是指碳的质量分数小于2.11%的铁碳合金。碳钢按品质分类可分为普通钢、优质钢、高级优质钢等;按化学成分分类可分为低碳钢($\omega_c \leq 0.25$)、中碳钢(ω_c 为0.25%~0.6%)、高碳钢($\omega_c > 0.6\%$)、合金钢等;按用途分有结构钢、工具钢、特殊性能钢、专业用钢等。

铸铁是指碳的质量分数大于2.11%的铁碳合金。铸铁根据铸铁中碳的存在形式不同,可分为灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁、蠕墨铸铁和特殊性能铸铁等。表1-1为一些常用的钢和铸铁材料(黑色金属材料)有关信息的举例说明。

(2)非铁材料是指钢铁材料以外的所有金属及其合金,包括轻金属、易熔金属、难熔金属、贵金属、稀土及碱土金属等,常见的有铝和铝合金、铜和铜合金、轴承合金、镁合金、钛合金等。表1-2为一些常用的非铁材料有关信息的举例说明。

表 1-1 常用的钢铁材料(黑色金属材料)举例

类别	名称	钢材料牌号编号说明		用途
		牌号举例	说明	
碳素钢	碳素结构钢	Q235-AF	屈服点为 235MPa、质量为 A 级的沸腾钢	一般以型材制作的工程结构件、制造不太重要的机械零件、焊接件等
	优质碳素结构钢	45	表示平均 ω_c 为万分之 45 的优质碳素结构钢	制造曲轴、传动轴、齿轮、连杆、联轴器等重要零件
	碳素工具钢	T8, T8A	表示平均 ω_c 为千分之 8 的碳素工具钢, A 为高级优质	制造有较高硬度和耐磨性, 又能承受一定冲击力的工具, 如手锤、冲头等
	铸造碳钢	ZG200-400	屈服强度为 200MPa、抗拉强度为 400MPa 的碳素铸钢	机座、电气吸盘、变速箱体等受力不大, 但具有一定韧性的零件
合金钢	低合金高强度结构钢	Q390A	屈服点为 390MPa、质量为 A 级	大量用于桥梁、船舶、车辆、高压容器、管道、建筑材料等
	合金结构钢	60Si2Mn	表示平均 ω_c 为 0.6%、平均 $\omega_{Si} = 2\%$ 、平均 $\omega_{Mn} < 1.5\%$ ($< 1.5\%$ 不标) 的锰钢	制造重要的机器零件, 如齿轮、活塞、压力容器等
	合金工具钢	W18Cr4V	表示平均 $\omega_c \geq 1.0\%$ 、平均 $\omega_W = 18\%$ 、平均 $\omega_{Cr} = 4\%$ 、平均 $\omega_{V} < 1.5\%$ 的合金工具钢	制造各种刀具、量具、模具等, 如钻头、铰刀、量块和冲模等
铸铁	灰口铸铁	HT200	表示试样直径 30mm、平均抗拉强度为 200MPa 的灰口铸铁	承受较大载荷和较重要的零件, 如气缸、底座、低速大齿轮、床身等
	可锻铸铁	KTZ450-06	表示抗拉强度不小于 450MPa、延伸率不小于 6% 的可锻铸铁	制造负荷较高的耐磨零件, 如曲轴、连杆、齿轮、凸轮轴等薄壁小铸件
	球墨铸铁	QT460-10	表示抗拉强度大于 450MPa、延伸率不小于 10% 的球墨铸铁	制造承受冲击、振动的零件, 如曲轴、蜗杆等
	蠕墨铸铁	RuT340	表示平均抗拉强度大于 340MPa 的蠕墨铸铁	制造大截面复杂铸件, 主要用于代替高强度灰口铸铁和合金铸铁

表 1-2 常用的非铁材料(有色金属材料)举例

类别	名称	非铁材料代号说明		用途
		代号举例	说明	
铜和铜合金	纯铜	Cu-1, T2	纯铜代号由 Cu 加序号为非压力加工产品;由 T 加序号为代号是压力加工产品	制成各种板材、管材、线材,广泛用于电机、电力和电气设备
	黄铜(铜锌合金)	H63, H90	黄铜代号由 H 加铜元素的含量百分数组成,余量主要是 Zn	具有良好的力学性能和加工性能及铸造性能,用于制造零件、焊料
	青铜(铜锡合金)	QSn7-0.2, QAl10-4-4	Q 表示青铜, Sn7 表示 $\omega_{\text{Sn}} = 7.0\%$, 0.2 为 $\omega_{\text{P}} = 0.2\%$, 其余为铜; Al10 表示 $\omega_{\text{Al}} = 10\%$, 4 分别是铁、镍含量	用于高强度、耐磨零件制造,如轴、轴瓦、轴衬、蜗轮、弹簧板等
铝和铝合金	纯铝	1070A (L1)	1 表示工业纯铝,最后两位表示铝的纯度,A 表示质量等级	制作高塑性、耐腐蚀、导电、导热的构件,如垫片、电容器、电线等
	变形铝合金	2A11 (LY11)	2 表示以铜为主加元素,11 为标准硬铝,A 为原始铝合金	制作各种中等强度的构件、零件,如螺栓、铆钉、螺旋桨叶片等
	铸造铝合金	ZL102A	ZL102 表示 2 号 Al-Si 铸造铝合金,A 为优质铸造铝合金	力学性能不如变形铝合金,但铸造性能好,适合铸造形状复杂的零件
轴承合金	铸造锡基合金	ZSnSb11Cu6	表示基本元素是 Sn,主加元素为 Sb 和 Cu, $\omega_{\text{Sb}} = 11\%$, $\omega_{\text{Cu}} = 6.0\%$	用于铸造气轮机和大型发电机的轴瓦、轴衬等
	铸造铜基合金	ZCuSn5Pb5Zn5 (ZQSn5-5-5)	表示基本元素是 Cu,主加元素为 Sn、Pb 和 Zn(各 4%~6%)	耐磨、耐腐蚀、易加工,铸造性能和气密性好,用于缸套、泵盖、蜗轮、轴瓦、衬套、活塞离合器等

2. 金属材料的性能

机械零件在使用过程中,要受到拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切、摩擦、冲击以及环境、温度和化学介质的作用,并且还要传递力和能量等,因此,作为构成零件的金属材料必须具备良好的物理、化学性能及力学性能,以保证零件的使用寿命和零件加工有良好的工艺性能。

(1) 金属材料的力学性能

金属材料的力学性能是指材料抵抗外加载荷引起的变形和断裂的能力。它是设计零件时选择材料和产品验收、鉴定的重要依据。力学性能常用指标有:强度、硬度、塑性、冲击韧度、疲劳强度以及刚度、弹性和断裂韧度等。

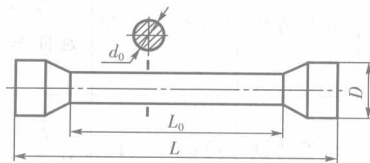


图 1-1 拉伸试样

① 强度 强度是指材料抵抗永久性变形和断裂的

能力。机械工程中常用的强度指标有屈服强度 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。按照 GB/T228—1987 的规定,将金属材料制成如图 1-1 所示的试样,通过拉伸试验,取得一组试样从开始受力到断

裂过程中所受拉力 F 和对应的伸长 ΔL 的数据,并绘制成 σ (应力)和 ϵ (应变)相关曲线图,如图 1-2 所示,展示该金属材料的强度特性。在 OS 段,当外力取消后,材料形变消失(还原),称为弹性形变;在 Sb 段,当外力取消后,材料形变仍保持,称为塑性形变。

屈服强度是指材料开始产生明显塑性变形时的最低应力值,计算方法如下:

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \text{ (Pa)}$$

式中: F_s ——试样产生屈服现象时所承受的最大外力, N;

A_0 ——试样原有的横截面面积, mm^2 。

抗拉强度是指材料在拉断前所能承受的最大应力值,计算方法如下:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \text{ (Pa)}$$

式中: F_b ——试样在断裂前的最大外力, N;

A_0 ——试样原有的横截面面积, mm^2 。

材料除了受拉伸力外,还可能受到压缩、弯曲、剪切等力的作用,因此还有抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。

②塑性 塑性是指在外力作用下,材料产生永久性变形而不发生破坏的能力。常用的指标是延伸率 δ 和断面收缩率 Ψ 。 δ 和 Ψ 越大,材料的塑性越好。延伸率与计算方法如下:

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

式中: L_0 ——试样原长度;

L ——试样受拉伸断裂时的长度。

断面收缩率 Ψ 计算方法如下:

$$\Psi = \frac{A_0 - A}{A_0} \times 100\%$$

式中: A_0 、 A ——分别为试样原来和断裂后的横截面积。

③硬度 硬度是指材料抵抗局部变形,特别是塑性变形、压痕、划痕的能力,即金属软硬的判别指标。常用的硬度测定方法有布氏硬度(HBS、HBW)、洛氏硬度(HR)和维氏硬度等。布氏、维氏硬度是以压力和压痕面积为计算依据,洛氏硬度则是用压力和压痕深度作为计算依据。它们之间可以进行换算。硬度试验简单方便,而且可以通过硬度估算出该材料的强度值,因此硬度是设计、检验时的一个重要指标。

布氏硬度的测试方法,如图 1-3 所示,以直径为 D 的淬火钢球(或硬质合金球)做压头,用相应的试验力压入被测体表面,经规定保持时间后卸荷,测量材料压痕面积,计算出布氏硬度,即

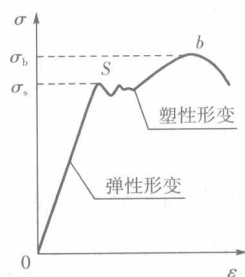


图 1-2 碳钢应力应变图

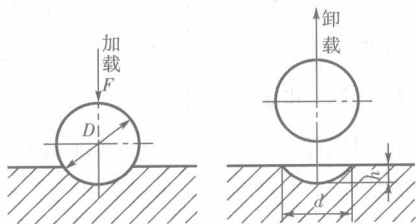


图 1-3 布氏硬度的测试方法