



普通高等教育“十二五”规划教材

机械制造基础

王甫茂 主编



科学出版社

内 容 简 介

本书根据高等职业院校机械类专业的教学基本要求,结合有关高职院校教学改革、课程改革的经验,以实际应用为目的,以“理论必须、够用为度”为指导思想,精选教学内容,将传统的工程材料及热处理、热加工工艺基础、冷加工工艺基础等课程的有关内容进行了优化重构,将理论知识与实验指导融为一体,体现了“理实一体化”的课程特色。

全书分为三篇:第一篇为工程材料,第二篇为毛坯成形方法,第三篇为金属切削加工。本书参考学时为60~70学时。

本书可作为三年制高职高专院校数控、模具、机电及近机械类专业的教材,也可作为有关教师与工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

机械制造基础/王甫茂主编. —北京:科学出版社,2011
(普通高等教育“十二五”规划教材)
ISBN 978-7-03-031965-4

I. ①机… II. ①王… III. ①机械制造-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 155532 号

责任编辑:毛莹 张丽花 / 责任校对:林青梅
责任印制:张克忠 / 封面设计:迷底书装

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

盛主印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2011年8月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2011年8月第一次印刷 印张:13 3/4

印数:1—3 500

字数:360 000

定价:29.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书根据高等职业技术学院机械类专业的教学基本要求,结合有关高职院校教学改革、课程改革的经验,以实际应用为目的,以“理论必须、够用为度”为指导思想,精选教学内容,将传统的机械制造技术基础的教学内容进行了优化重构,并体现了“理实一体化”的课程特色。

本书是科学出版社普通高等教育“十二五”规划教材,也是四川省省级教改项目“高职高专机械基础系列课程与教材建设研究”系列教材之一。本书与其他同类教材不同的是,体现了现代高等职业教育的改革特点,将教材、学习参考书、实训指导书的功能融为一体。全书内容简洁、实用,知识面广,深度适宜,便于教师讲授和学生自学。

本书分为三篇,共14章,包括金属材料的力学性能及其测定、铁碳合金、钢的热处理、常用工程材料、铸造、锻压、焊接、切削加工基础、车削、钻削和镗削、刨削和铣削、磨削、齿轮齿形加工、钳工。

本书由部分高职院校具有丰富教学经验的教师编写。全书由宜宾职业技术学院王甫茂副教授担任主编,田泽明、周文超担任副主编,由泸州职业技术学院贺元成教授和宜宾职业技术学院陈子侠教授担任主审。具体的编写分工如下:周文超(第1、2章)、王甫茂(第3、4章)、王信(第5、6章)、张安民(第7章)、陈川雄(第8、9章)、罗宗平(第10、11章)、田泽明(第12、13章)、王强(第14章)。

因编者水平有限,错漏之处在所难免,恳请广大读者批评指正。

编 者

2011年6月

目 录

前言

绪论	1
----	---

第一篇 工程材料

第 1 章 金属材料的力学性能及其测定	4	3.1 钢在热处理时的组织转变规律	34
1.1 强度、塑性指标及其测定	4	3.1.1 钢在加热时的组织转变	34
1.1.1 拉伸试验	5	3.1.2 钢在冷却时的组织转变	36
1.1.2 强度、塑性指标	6	3.2 钢的普通热处理	39
1.2 硬度及其测定	8	3.2.1 退火	39
1.2.1 布氏硬度及其测定	8	3.2.2 正火	39
1.2.2 洛氏硬度及其试验	11	3.2.3 淬火	40
1.2.3 维氏硬度简介	13	3.2.4 回火	41
1.3 冲击韧性、疲劳强度	13	3.2.5 钢的普通热处理及金相观察实验	42
1.3.1 冲击韧性	13	3.3 钢的表面热处理	47
1.3.2 疲劳强度	15	3.3.1 钢的表面淬火	47
复习思考题	16	3.3.2 化学热处理	48
第 2 章 铁碳合金	17	3.4 典型零件的热处理工艺分析	49
2.1 金属的晶体结构与结晶	17	3.4.1 预先热处理	49
2.1.1 金属的晶体结构	17	3.4.2 最终热处理	49
2.1.2 金属的实际晶体结构	18	3.5 钢的热处理新工艺简介	50
2.1.3 纯金属的结晶	19	复习思考题	51
2.2 合金的晶体结构与二元合金相图	21	第 4 章 常用工程材料	52
2.2.1 合金的实用价值及有关合金的几个基本概念	21	4.1 碳钢、铸铁	52
2.2.2 合金的相结构及合金的组织	22	4.1.1 碳钢	52
2.2.3 二元合金相图的含义及建立方法	23	4.1.2 铸铁	55
2.3 铁碳合金相图	24	4.2 合金钢	56
2.3.1 铁碳合金的基本相	25	4.2.1 合金钢的分类及牌号	56
2.3.2 铁碳合金相图	26	4.2.2 低合金结构钢	57
复习思考题	32	4.2.3 合金结构钢	58
第 3 章 钢的热处理	33	4.2.4 合金工具钢	60
		4.2.5 特殊性能钢	62
		4.3 粉末冶金材料	64

4.3.1 粉末冶金法	64	4.5.1 工程塑料	71
4.3.2 常用粉末冶金材料	64	4.5.2 橡胶	73
4.4 有色金属及其合金	65	4.5.3 陶瓷材料	74
4.4.1 铜及铜合金	66	4.5.4 复合材料	74
4.4.2 铝及铝合金	67	4.6 新材料简介	75
4.4.3 轴承合金	69	4.7 金属材料火花鉴别	77
4.5 非金属材料	70	复习思考题	81

第二篇 毛坯成形方法

第5章 铸造	83	6.5.4 冷变形	104
5.1 铸造概述	83	6.5.5 多向模锻	105
5.2 砂型铸造	84	6.5.6 超塑性成形	105
5.2.1 造型材料和制芯材料	85	6.5.7 高能率、高成形	105
5.2.2 造型方法	85	6.5.8 粉末冶金及粉末锻造	105
5.3 特种铸造	89	6.5.9 液态模锻	106
5.3.1 金属型铸造	89	6.5.10 半固态金属塑性成形	106
5.3.2 压力铸造	90	6.5.11 数字化塑性成形技术	106
5.3.3 低压铸造	90	复习思考题	108
5.3.4 熔模铸造	90	第7章 焊接	109
5.3.5 离心铸造	91	7.1 焊接概述	109
5.3.6 几种铸造方法比较	91	7.1.1 焊接工艺的原理及特点	109
5.4 常用合金铸件的生产特点	92	7.1.2 焊接工艺的分类	109
5.5 铸造新技术简介	92	7.1.3 焊接在工业中的应用	109
复习思考题	93	7.2 手工电弧焊	110
第6章 锻压	94	7.2.1 手工电弧焊原理	110
6.1 锻压概述	94	7.2.2 手工电弧焊设备	110
6.2 自由锻	94	7.2.3 焊接电弧	111
6.2.1 自由锻主要设备	94	7.2.4 焊缝形成过程及特性	112
6.2.2 自由锻基本工序	95	7.2.5 焊条	112
6.3 模具锻造	96	7.2.6 手工电弧焊工艺	114
6.3.1 锤上模锻	97	7.3 氩弧焊	115
6.3.2 压力机上模锻	98	7.3.1 手工钨极氩弧焊	116
6.3.3 胎模锻	99	7.3.2 焊接规范和操作工艺	118
6.4 板料冲压	100	7.4 其他焊接方法	120
6.5 锻压新技术简介	103	7.4.1 埋弧自动焊	120
6.5.1 精密模锻	103	7.4.2 气体保护电弧焊	121
6.5.2 精密冲裁	104	7.4.3 气焊和气割	122
6.5.3 回转成形	104	7.4.4 电渣焊	124

7.4.5 压力焊	125	7.5.3 激光焊	130
7.4.6 钎焊	127	7.5.4 焊接机器人和智能化	130
7.5 焊接新技术简介	128	7.5.5 其他特种焊接方法	131
7.5.1 等离子弧焊	128	复习思考题	131
7.5.2 真空电子束焊	129		

第三篇 金属切削加工

第8章 切削加工基础	132	9.2.2 车床两类运动的产生与传递	153
8.1 切削运动与切削要素	132	9.2.3 车床的常用附件	154
8.1.1 切削运动	132	9.3 车刀的种类及应用	155
8.1.2 切削要素	133	9.3.1 车刀的种类	155
8.2 金属切削刀具及几何角度测量	135	9.3.2 车刀的运用	156
8.2.1 刀具的组成	136	9.4 车削加工基本方法	157
8.2.2 车刀切削部分的主要几何角度	136	9.4.1 车削外圆	157
8.2.3 刀具几何角度的测量	138	9.4.2 车削端面	158
8.3 切削过程中的物理现象	141	9.4.3 车削锥面	158
8.3.1 切削变形	141	9.4.4 车成形面	158
8.3.2 积屑瘤	142	9.4.5 车螺纹	159
8.3.3 切削力和切削功率	142	9.5 其他车床简介	160
8.3.4 切削热、切削温度、切削液	143	复习思考题	161
8.3.5 刀具磨损与耐用度	145	第10章 钻削和镗削	162
8.4 工件材料的切削加工性	146	10.1 钻削加工	162
8.4.1 衡量工件材料切削加工性的指标	146	10.1.1 钻削加工工艺范围	162
8.4.2 影响材料切削加工性的因素	147	10.1.2 钻削加工设备	162
8.5 金属切削机床的分类与型号	147	10.1.3 麻花钻结构	163
8.5.1 机床分类	147	10.1.4 钻削夹具	164
8.5.2 机床型号的编制方法	147	10.1.5 麻花钻钻孔的方法	167
复习思考题	150	10.1.6 钻削的工艺特点	168
第9章 车削	151	10.1.7 扩孔加工与扩孔钻	168
9.1 车削加工范围及特点	151	10.1.8 铰削加工与铰刀	169
9.1.1 车削加工范围	151	10.2 镗削加工	171
9.1.2 车削加工工艺特点	152	10.2.1 镗削加工工艺范围	171
9.2 车床的基本结构	152	10.2.2 镗刀	171
9.2.1 普通车床的主要部件及其功用	152	10.2.3 镗床夹具	172
		10.2.4 镗床	172
		10.2.5 镗削加工特点	174
		10.2.6 镗削加工方法	174
		复习思考题	175

第 11 章 刨削和铣削	176	12.4.3 磨削加工实例	190
11.1 刨削加工	176	复习思考题	190
11.1.1 刨削加工工艺范围	176	第 13 章 齿轮齿形加工	191
11.1.2 刨刀	176	13.1 概述	191
11.1.3 刨床	177	13.2 成形法加工齿轮	191
11.1.4 基本刨削工作	177	13.3 展成法加工齿轮	191
11.1.5 刨削加工特点	178	13.3.1 滚齿	191
11.2 铣削加工	179	13.3.2 插齿	193
11.2.1 铣削加工特点	179	复习思考题	194
11.2.2 铣刀	179	第 14 章 钳工	195
11.2.3 铣床	180	14.1 钳工概述	195
11.2.4 铣床附件及应用	181	14.1.1 钳工的适用范围	195
11.2.5 铣削方法	183	14.1.2 钳工常用的设备、工具和量具	195
11.2.6 铣削加工工艺	184	14.1.3 钳工操作的安全技术规程	198
11.2.7 铣削加工特点	185	14.2 钳工基本工艺	198
复习思考题	185	14.2.1 划线	198
第 12 章 磨削	186	14.2.2 锯削	202
12.1 磨削加工概述	186	14.2.3 錾削	202
12.2 砂轮	186	14.2.4 锉削	204
12.2.1 砂轮的种类	186	14.2.5 攻螺纹和套螺纹	206
12.2.2 砂轮的安装与维修	187	14.3 钳工装配基本知识	209
12.3 磨削加工设备	188	14.3.1 装配过程及装配工作	209
12.3.1 外圆磨床	188	14.3.2 典型件的装配	210
12.3.2 平面磨床	188	复习思考题	211
12.4 磨削加工基本方法	189	参考文献	212
12.4.1 磨外圆的基本操作方法	189		
12.4.2 磨平面的基本操作方法	189		

绪 论

材料科学和制造科学是促进人类文明与发展的重要领域，对国民经济的发展起着重要作用。面对市场经济和全球化竞争的挑战，机械制造工业要为国民经济的发展作出重要贡献，就要十分重视材料成形与制造科学的发展。

1. 机械的基本概念

机械 (machine)，源自于希腊语 *mechine* 及拉丁文 *mecina*，原指“巧妙的设计”，而现代意义的机械是机构和机器的总称，是能帮人们降低工作难度或省力的工具装置。

(1) 机构。机构是指两个或两个以上的构件通过活动连接以实现规定运动的构件组合。机构的特征有：机构是一种人为的实物构件的组合，机构各部分之间具有确定的相对运动。

构件：机构中的运动单元体。

零件：组成机械和机器的不可分拆的单个制件，其制造过程一般不需要装配工序。零件是机械制造过程中的基本单元。

部件：机械的一部分，可以完成某个特定功能或动作，由若干装配在一起的零件组成。

(2) 机器。机器是由零部件组装成的装置，可以运转，用来代替人的劳动、作能量变换或产生有用功。机器除具备机构的特征外，还必须具备第三个特征，即能代替人类的劳动以完成有用的机械功或转换机械能。机器贯穿人类历史的全过程。马克思指出，人类进入工业文明的标志就是现代意义上的机器的诞生。

2. 机械制造一般工艺过程

机械制造的生产过程一般是先根据设计选用材料，然后用铸造、压力加工或焊接等方法将材料制作成零件的毛坯（或半成品），再经切削加工制成符合尺寸精度要求的零件，最后将零件装配成为机器。为了改善毛坯和工件的性能，常须在制造过程中穿插进行热处理。机械制造工艺流程如图 0.1 所示。

毛坯材料和成形方法的选用直接影响零件的质量、成本和生产率。要合理选择毛坯种类及制造方法，就必须掌握各种材料的性能、特点、应用及其成形过程，包括各种成形方法的工艺实质、成形特点和选用原则等。

3. 我国机械制造的历史及发展

在材料生产及其成形工艺的历史上，我们的祖先有过辉煌的成就。我国在原始社会后期开始有陶器，在仰韶文化和龙山文化时期制陶技术已相当成熟；青铜冶炼始于夏代，至商、周代（公元前 16 世纪至公元前 8 世纪）冶铸技术已达到很高水平，形成了灿烂的青铜文化；公元前 7 世纪至公元前 6 世纪的春秋时期，铁器在我国已开始大量使用，白口铸铁、麻口铸铁、可锻铸铁相继出现，比欧洲诸国早了 1800 多年；约 3000 年前，我国便已采用铸造、锻造、淬火等技术生产工具和各种兵器。大量的历史文物，如湖北江陵楚墓中发现的埋藏了 2000 多年的越王勾践剑，至今仍异常锋利；陕西秦始皇陵出土的大型彩绘铜车马，由 3000 多个零部件组成，

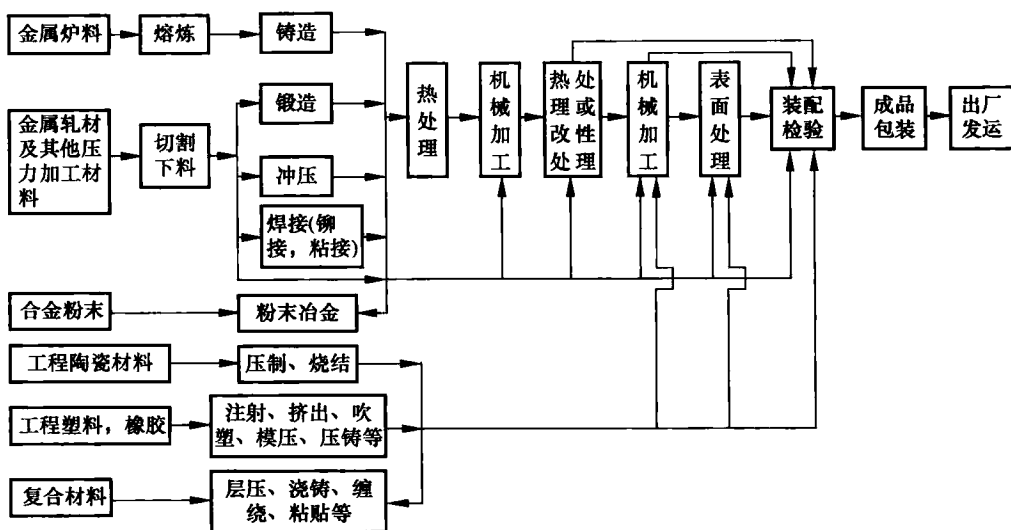


图 0.1 机械制造工艺流程图

综合采用了铸造、焊接、凿削、研磨、抛光等多种机械制造工艺，结构之复杂，制作之精美，至今仍令人叹服；明朝永乐年间制造的大钟（重 46.5t），上有经文 20 余万字，其浑厚悦耳的钟声至今仍伴随着华夏子孙辞旧迎新……都显示了中华民族在材料成形方法及热处理工艺等方面的卓越成就。

新中国成立以后，特别是近几十年来，我国工业生产发展迅速。20 世纪 60 年代我国自行设计并生产的 12000t 水压机，是制造大型机电设备的必备生产设备；我国人造地球卫星、洲际弹道导弹及“长征”系列运载火箭的研制成功，均与我国机械制造工艺水平的发展密切相关。上述飞行器的壳体均选用铝合金、钛合金或特殊合金薄壳结构，采用胶接及钨极氩弧焊、等离子弧焊、真空电子束焊、真空钎焊和电阻焊等方法焊接而成。我国成功生产了世界上最大的轧钢机机架铸钢件（重 410t）和长江三峡巨型水轮发电机组特大型零部件。

20 世纪 80 年代后，世界各国纷纷开始了对各种新材料的开发。光电子信息材料、先进复合材料、先进陶瓷材料、新型金属材料、高性能塑料、超导材料等层出不穷，并迅速投入使用，给社会生产和人们的生活带来了巨大的变化。近年来，精密成形技术的不断发展，使毛坯的形状、尺寸和表面质量更接近零件要求。国际机械加工技术学会预测，本世纪初精密成形与磨削加工相结合，将逐渐取代大部分中、小零件的切削加工，到 2015 年，它所成形的零件的公差可相当于磨削精度。

当今世界，科学技术迅猛发展，微电子、计算机、自动化技术与制造工艺和设备相结合，形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术；成形加工过程的计算机模拟、仿真与并行工程、敏捷工程及虚拟制造相结合，已成为网络化异地设计和制造的重要内容，应用新型传感器、无损检测等自动化监控技术及可编程控制器、新型控制装置可以实现系统的自适应控制和自动化控制。

尽管各种新技术、新工艺应运而生，新的制造理念不断形成，但铸造、锻压、焊接、热处理及机械加工等传统的常规成形工艺至今仍是被广泛使用的技术。因此，常规工艺不断改进和提高，并通过各种途径实现其高效化、精密化、轻量化和绿色化，具有很重要的技术经济意义。

4. 本课程的主要内容

“机械制造基础”是机械类和近机械类专业的重要技术基础课程。本书以机械制造工艺过程的基本理论和基本知识为主线，整合了选材、毛坯、加工等内容，如图 0.2 所示。

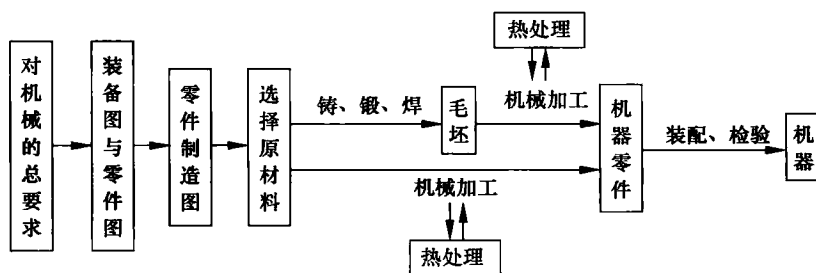


图 0.2 机器制造的一般过程

其主要内容包括：

- (1) 材料的力学性能：介绍材料性能的基本概念和衡量指标、常用材料性能的测定方法。
- (2) 铁碳合金相图：介绍铁碳合金的成分—组织—性能之间的关系。
- (3) 钢的热处理：介绍改变常见金属材料性能的一般方法。
- (4) 常用材料及选用：介绍工程中典型材料的牌号、性能和选用。
- (5) 毛坯成形方法：介绍铸造、锻压、焊接等热加工的基本工艺方法。
- (6) 切削加工原理：介绍切削加工运动、切削力、刀具以及一些切削物理现象等。
- (7) 机械加工：介绍车、铣、钻、镗、刨、磨、钳及齿轮加工基本知识和基本工艺方法。

5. 本课程的教学目标及学习方法

通过本课程的教学，使学生掌握与机械制造技术有关的基础知识、基本理论和基本方法，获得正确选择材料、合理选择毛坯、机器零件切削加工原理、加工方法与设备及先进制造技术等方面的基本知识，学会与本课程基础知识相关的实验、实训的基本技能，为学习其他有关专业课程及以后从事机械设计与制造方面的工作奠定必要的技术基础。

机械制造基础涉及内容多，且实践性强，是典型的“理实一体化”课程。学习过程中除了注重建立相关理论知识体系外，要下工厂、多实践，要重视实验、生产实习，并配合相关职业资格鉴定要求进行实际操作培训，通过提高感性认识来强化知识体系，并初步形成良好的职业行为习惯。

第一篇 工程材料

第1章 金属材料的力学性能及其测定

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能两大类。

使用性能是指金属材料在使用过程中所表现出来的性能，它是保证工件正常工作应具备的性能，主要包括物理性能（如密度、熔点、导电性、导热性、热膨胀性、磁性等）、化学性能（如耐腐蚀性、抗氧化性等）和力学性能等。

工艺性能是指金属材料在加工过程中适应各种加工工艺方法的性能，主要包括铸造性能、锻造性能、焊接性能和切削加工性能等。

金属材料的力学性能是零件设计、选材和验收的主要依据，直接关系到零件能否正常使用。

金属是绝大多数机械设备的选用材料。一般情况下，选用金属材料时，是以力学性能作为主要依据的。力学性能是指材料在外加载荷作用下所表现出来的性能，主要包括强度、塑性、

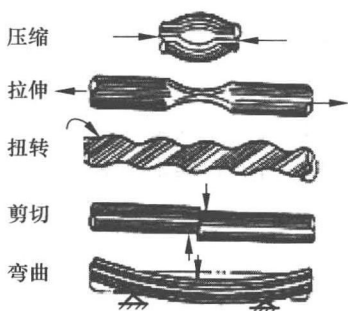


图 1.1 载荷的形式

硬度、韧性和疲劳强度等。用来表征材料力学性能的各种临界值或规定值均称为力学性能指标，材料力学性能的优劣就是用这些指标的具体数值来衡量的。要研究材料的力学性能，必须先了解零件所承受载荷的性质和作用方式。根据载荷的性质，一般分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。静载荷是指载荷的大小和方向不变或变动很慢的载荷；冲击载荷是指突然作用于零部件上的载荷；交变载荷是指大小与方向随时间发生周期性变化的载荷。根据载荷形式的不同，载荷也可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等，如图 1.1 所示。

金属材料受到载荷作用时，发生形状和尺寸的变化，称为变形。变形按卸载后能否完全消失，分为弹性变形与塑性变形。所谓弹性变形，是指材料受到载荷作用时产生形变、载荷卸除后恢复原状的变形。而塑性变形是指载荷卸除后不能恢复原状的变形，也称永久变形。

1.1 强度、塑性指标及其测定

材料的强度与塑性是材料最重要的力学性能指标。

强度是指材料抵抗变形和断裂的能力。根据载荷作用形式的不同，强度可分为抗拉、抗压、抗弯、抗剪和抗扭强度等。一般情况下，多以静载荷作用下抗拉强度作为判别金属强度的基本指标。

塑性是指材料在断裂前产生永久变形而不被破坏的能力。

强度和塑性指标常通过拉伸试验来测定。拉伸试验是在拉伸试验机上，用静拉伸载荷对标准试样进行轴向拉伸，同时连续测量载荷和相应的伸长量，直至试样断裂，根据测出的拉伸曲线及数据，即可得出强度和塑性指标。

1.1.1 拉伸试验

低碳钢是工程上最广泛使用的材料，同时，低碳钢试样在拉伸试验中所表现出的变形与抗力间的关系也比较典型。所以，本次试验采用低碳钢作为塑性材料的代表进行测试。

1) 拉伸试件

材料的力学性能是通过拉伸实验来确定的，因此必须把所测试的材料加工成能被拉伸的试件。试验表明，试件的尺寸和形状对实验结果有影响。为了避免这种影响和便于使各种材料力学性能的测试结果进行比较，国家标准对试件的尺寸和形状作了统一的规定，拉力试件分为比例的和非比例的两种。比例试件应符合如下的关系：

$$L_0 = K \cdot A_0 \quad (1-1)$$

式中， L_0 为标距，用于测量拉伸变形，mm； A_0 为标距部分试件的断面积； K 为系数， $K=5.56$ 或 $K=11.3$ ，前者称为短试件，后者称为长试件。

据此，直径为 d_0 的短、长圆形试件的标距长度 L_0 分别为 $5d_0$ 和 $10d_0$ ；非比例试件的标距与其横截面间则无上述关系，而是根据制品（薄板、薄带、细管、细丝、型材等）的尺寸和材料的性质规定出平行长度 L 和标距长度 L_0 。长试件如图 1.2 所示。试件两端较粗的部分为装入试验机夹头中的夹持部分，起传递拉力的作用。它的形状及尺寸可根据试验的夹头形式而定。

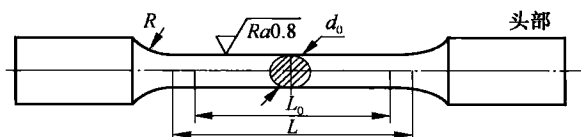


图 1.2 圆形拉伸试件

2) 试验装置

万能试验机或拉力试验机。试验机的夹头有各种形式，一般采用夹板式，如图 1.3 所示。图形截面试件所用的夹板如图 1.4 所示。楔形夹板表面制成凸纹，因而承受拉力作用后的试件会越来越紧。有的试验机采用螺纹夹头，则试件夹持部分相应也为螺纹。试验时，利用试验机的自动绘图器可绘出低碳钢的拉伸图。

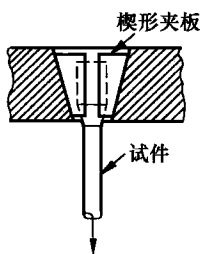


图 1.3 夹板式夹头

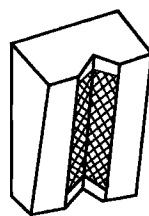


图 1.4 用于圆形截面试件的夹板

3) 试验步骤

(1) 试件准备与尺寸测量，用划线机划上试件的标距，并将其分成 10 格，以便观察标距范围内沿轴向的变形情况。用游标卡尺测量试件标距部分的直径。在标距范围的中间及两端处，每处两个互相垂直的方向上各测量一次，取其平均值为该处直径。用所测得的三个平均值中的最小值计算试件的横截面面积 A_0 ，计算 A_0 时取三位有效数字。

(2) 观察颈缩现象。当测力指针再次出现停滞不前、倒退现象时，可以观察到试件产生局部

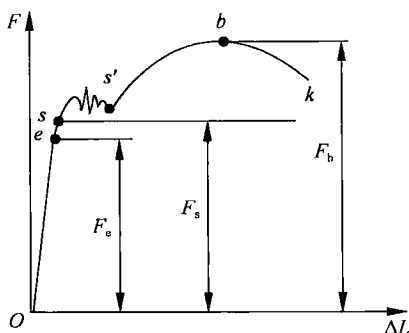


图 1.5 低碳钢（塑性材料）的力-伸长曲线图

变形的颈缩现象。随之，测力指针迅速倒退，试件很快断裂。

(3) 确定 F_b 。试件断裂后，关闭机器电门；记录随动指针所指的刻度值，此即为强度极限载荷 F_b 。

(4) 取下试件，将拉断的试件在断口处尽量对拢，量测拉断后的标距长度 L_1 和断口直径 d_1 。

(5) 分析试验得到的曲线，如图 1.5 所示。

注意事项：

(1) 开机前和停机后，送油阀一定要置于关闭位置；加载、卸载和回油均须缓慢进行。

(2) 拉伸试件夹住后，不得再调整下夹头的位置。

(3) 机器开动时，操纵者不得擅自离开。

(4) 使用时，听见异声或发生任何故障应立即停止。

(5) 调整测力指针指零时，一定要开机进油，使活动平台上升少许。

(6) 试件装夹必须正确，防止偏斜和夹入部分过短的现象；读测力度盘显示值时，测力指针所指的刻度值必须与所挂摆锤相对应。

4) 力-伸长曲线

在拉伸试验过程中，记录的载荷 F （拉伸力）与试样伸长量 ΔL 之间的关系曲线称为力-伸长曲线，如图 1.5 所示。图中纵坐标表示力 F (N)；横坐标表示绝对伸长量 ΔL (mm)，即在某一拉伸力时试样的标距长度与原始标距长度的差值。

由图 1.5 曲线可以看出，拉伸过程表现出下面四个变形阶段。

(1) Oe 段：弹性变形阶段。试样的伸长量与拉伸载荷成正比，此阶段内试样变形是弹性变形，如去除拉伸力，变形则完全消失。 F_e 是保持弹性变形的最大拉伸力。

(2) es' 段：屈服阶段。在 es 段，不仅有弹性变形，还有微量的塑性变形，若此时卸载，试样的伸长只能部分地恢复，而保留一部分变形。在 ss' 段，会出现平台或锯齿状，这时载荷不增加或略有减少，试样却继续伸长，这种现象称为屈服现象， s 点称为屈服点。此时的载荷 F_s 为屈服载荷。屈服后，材料将残留较大的塑性变形。

(3) $s'b$ 段：强化阶段。要使试样继续发生变形，必须不断增加载荷。随着塑性变形的增加，材料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）。此阶段的塑性变形是均匀的。 F_b 为试样所能承受的最大载荷。

(4) bk 段：缩颈阶段。当载荷增加到最大值 F_b 后，试样的直径发生局部收缩，称为“缩颈”。此时变形所需载荷也逐渐降低，至 k 点，试样断裂。

工程上使用的金属材料多数没有明显的屈服现象。有些脆性材料，不仅没有屈服现象，而且也不产生“缩颈”，如铸铁等。图 1.6 为铸铁（脆性材料）的力-伸长曲线。

1.1.2 强度、塑性指标

1) 强度指标

材料的强度指标主要有弹性极限、屈服点和抗拉强度等。

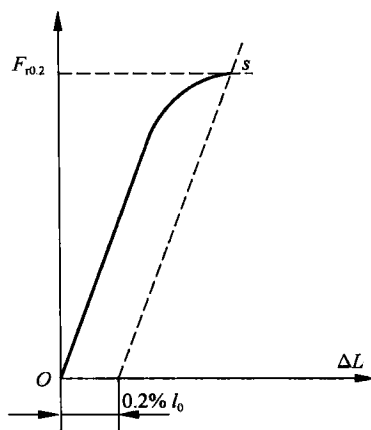


图 1.6 铸铁（脆性材料）的力-伸长曲线图

(1) 弹性极限。材料只产生弹性变形所能承受的最大应力, MPa。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0} \quad (1-2)$$

式中, F_e 为试样只产生弹性变形的最大载荷, N; A_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

它是弹性零件设计与选材的重要依据。

(2) 屈服点。材料产生屈服时对应的应力, MPa。

$$\sigma_s = \frac{F_s}{A_0} \quad (1-3)$$

式中, F_s 为试样产生屈服时的载荷, N; A_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

对于屈服现象不明显的材料, 如高碳钢、铸铁等, 如图 1.6 所示, 测定 σ_s 很困难。在此情况下, 规定以试样长度方向产生 0.2% l_0 塑性变形时的应力, 作为试样的“规定残余伸长应力”, 用 $\sigma_{r0.2}$ 表示:

$$\sigma_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{A_0} \quad (1-4)$$

式中, $F_{r0.2}$ 为残余伸长率达 0.2% 时的载荷, N; A_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

机械零件在工作时一般不允许产生明显的塑性变形, 材料的屈服强度或规定残余延伸强度越高, 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, 通常以屈服强度或规定残余延伸强度作为机械零件设计和选材的主要依据。

(3) 抗拉强度。试样拉断前所能承受的最大应力, MPa。

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_0} \quad (1-5)$$

式中, F_b 为试样拉断前所能承受的最大载荷, N; A_0 为试样原始横截面积, mm^2 。

零件在工作中所承受的应力不允许超过其抗拉强度, 否则会产生断裂。 σ_b 也是机械零件设计和选材的依据。

总之, 屈服点和抗拉强度均为设计和金属材料的重要依据。机械零件与工具的使用应力必须小于材料的屈服点, 否则会引起明显的塑性变形, 导致机械零件与工具的损坏; 若使用应力大于抗拉强度, 则会发生断裂, 造成事故。

2) 塑性指标

常用的塑性指标有断后伸长率和断面收缩率, 它们都是通过拉伸试验求得的。

(1) 断后伸长率。指试样拉断后, 标距的伸长量与原标距的百分比, 即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\% \quad (1-6)$$

式中, l_0 为试样原始标距长度, mm; l_1 为试样拉断后标距长度, mm。

必须指出, 长试样 ($l_0 = 10d_0$) 的伸长率用符号 δ_{10} 或 δ 表示, 短试样 ($l_0 = 5d_0$) 的伸长率用符号 δ_5 表示。对同一材料, $\delta_5 > \delta_{10}$ 。因此, 在比较伸长率时应注意规格要统一。

(2) 断面收缩率 ψ 。指试样拉断后, 缩颈处横截面积的最大缩减量与原始横截面积的百分比, 即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\% \quad (1-7)$$

式中, A_0 为试样原始横截面积, mm^2 ; A_1 为试样断裂处的最小横截面积, mm^2 。

断面收缩率不受试样尺寸的影响, 因此能比较确切地反映材料的塑性。

一般来说, δ 、 ψ 值越大, 材料的塑性越好。塑性好的金属易通过塑性变形加工成形状复

杂的零件。例如，钢的塑性较好，能通过轧制、锻压、冲压成形。铸铁的塑性几乎为零，所以不能进行塑性变形加工。另外，塑性好的材料在受力过大时首先产生塑性变形，而不致突然断裂，因此比较安全。

1.2 硬度及其测定

1.2.1 布氏硬度及其测定

1. 试验原理

使用一定直径的硬质合金球，以规定的试验力压入金属表面，经规定的保持时间后卸除试验力，然后测量表面压痕直径来计算硬度，如图 1.7 所示为布氏硬度试验原理图。布氏硬度值是用球面压痕单位面积上所承受的平均压力来表示的，其计算公式为

$$HB = \frac{F}{S} = 0.102 \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (1-8)$$

式中，HB 为布氏硬度值； F 为所加载荷，N； S 为球面压痕表面积， mm^2 ； D 为压头直径，mm； d 为压痕直径，mm。

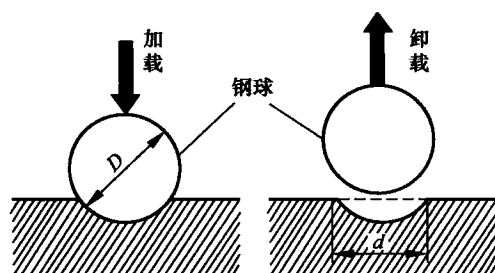


图 1.7 布氏硬度试验原理

从上式中可以看出，当试验力 F 和压头球体直径 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；反之，硬度越低。

布氏硬度符号为 HBS，表示用钢球压头测得值，其测量范围在 450HBS 以下；布氏硬度符号为 HBW，表示用硬质合金球压头测得值，其测量范围在 650HBW 以下。

通常布氏硬度值不标单位。实际试验时，布氏硬度一般不用计算，而是根据用刻度放大镜测出的压痕直径 d ，从专门的硬度表中查出相应的布氏硬度值。

2. 布氏硬度的表示方法

硬度值写在符号 HBS 或 HBW 之前，在硬度符号后面按以下顺序用数字表示试验条件。

1) 球体直径

常用的压头球体直径 D 有 10、5、2.5 和 1mm 四种。

2) 试验力

试验力 F （单位为 kgf）与球体直径平方的比值（ F/D^2 ）有 30、15、10、5、2.5 和 1 共六种，应根据金属材料的种类和硬度范围进行选择。

3) 试验力保持的时间（10~15s 不标注）

一般钢铁材料为 10~15s，有色金属为 30s，布氏硬度值小于 35 时为 60s。

例如，600HBW1/30/20 表示用直径为 1mm 的硬质合金球，在 30kgf（294.2N）试验力作用下，保持 20s 时测得的布氏硬度值为 600MPa。350HBW5/750 表示用直径为 5mm 的硬质合金球，在 750kgf（7355N）试验力的作用下，保持 10~15s 时测得的布氏硬度值为 350MPa。

3. 布氏硬度的测定

布氏硬度试验主要用于测定原材料或半成品的硬度，适用于测量铸铁、有色金属以及退

火、正火调质处理的钢等硬度不是很高的材料。

1) 试验设备及试样

(1) 布氏硬度试验机 (HB-3000 型布氏硬度试验机, 其简图如图 1.8 所示)。

(2) 布氏硬度试验试样: $\Phi 20 \times 10\text{mm}$ 的 45 钢或有色金属正火及退火状态。

试样技术条件: 试样表面应平整光洁, 不得有氧化皮或油污及明显的加工痕迹; 试样厚度应大于压入深度的 10 倍; 在试样制备过程中, 应尽量避免试样受热及冷加工对硬度测试的影响。

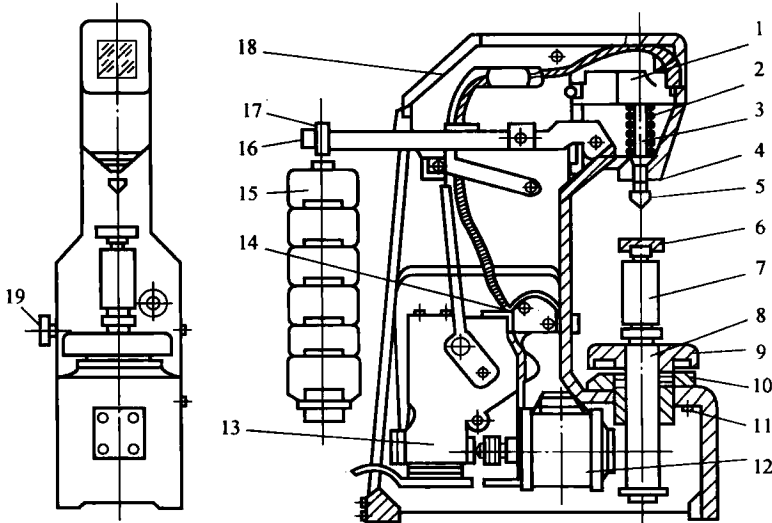


图 1.8 HB-3000 型布氏硬度试验机

1-小杠杆; 2-弹簧; 3-压轴; 4-主轴衬套; 5-钢球; 6-可更换工作台; 7-工作台立柱; 8-螺杆; 9-升降手轮; 10-螺母; 11-套筒; 12-电动机; 13-减速器; 14-换向开关; 15-砝码; 16-大杠杆; 17-吊环; 18-机体; 19-电源开关

2) 试验步骤

(1) 据试验材料和试样厚度按表 1.1 布氏硬度试验规范选择球体直径 D 、试验力 F 的大小和试验力作用保持的时间。例如, 选择布氏硬度 ≥ 140 的铸铁材料, 球体直径 D 为 10mm, 试验力为 7355N (即 750kgf), 则 $0.102F/D^2$ 为 30, 保持时间为 10s。

表 1.1 布氏硬度试验规范

材料种类	布氏硬度 使用范围	球直径 D/mm	$0.102F/D^2$	试验力 F/N	试验力保持 时间/s	备 注
钢, 铸铁	≥ 140	10		29420		1. 压痕中心距试样边缘 $> 2.5d$; 2. 两相邻痕中心距离应 $> 4d$ (d 为压痕平均直径)
		5	30	7355	10	
		2.5		1839		
	< 140	10		9807		
		5	10	2452	10~15	
		2.5		612.9		
铜及铜合金	≥ 130	10		29420		
		5	30	7355	30	
		2.5		1839		
	35~130	10		9807		
		5	10	2452	30	
		2.5		612.9		
轻金属及其合金	< 35	10		2452		
		5	2.5	612.90	60	
		2.5		153.2		

(2) 将试样平稳地放在工作台 6 上, 顺时针转动升降手轮 9, 使试样测试表面垂直于钢(硬质合金)球加力方向, 直至试样与球体紧密接触手轮空转为止。

(3) 打开电源开关 19, 待电源指示灯亮后, 再启动按钮开关, 当加荷指示灯明亮时, 表示试验力开始加载, 此时立即拧紧定时压紧螺钉, 即自动开始计时, 达到预定加力时间后, 即自行停止。

(4) 关闭电源, 逆时针方向转动手轮 9, 使工作台 6 下降, 取下试样。用读数显微镜测量压痕直径 d , 用所得结果从对照表(表 1.2)中查找相应的硬度值。例如, 选择布氏硬度 ≥ 140 的铸铁材料、球体直径 D 为 10mm、试验力为 7355N (即 750kgf)、 $0.102F/D^2$ 为 30、保持时间为 10s 的试件进行测量, 用读数显微镜测得压痕直径 $d=3.80\text{mm}$, 则查表 1.2 得到硬度值为 255。

表 1.2 压痕直径与布氏硬度及相应洛氏硬度对照表

d_{10} $2d_5$ $4d_{2.5}$	HB			HR			d_{10} $2d_5$ $4d_{2.5}$	HB			HR		
	$30D^2$	$10D^2$	$2.5D^2$	HRB	HRC	HRA		$30D^2$	$10D^2$	$2.5D^2$	HRB	HRC	HRA
2.3	712				67	85	4.05	223	74.3	18.6	97	21	61
2.35	682				65	84	4.1	217	72.4	18.1	97	20	61
2.4	635				63	83	4.15	221	70.6	17.6	96		
2.45	627				61	82	4.2	207	68.8	17.2	95		
2.5	601				59	81	4.25	201	67.1	16.8	94		
2.55	578				58	80	4.3	197	65.5	16.4	93		
2.6	555				56	79	4.35	192	63.9	16	92		
2.65	534				54	78	4.4	187	62.4	15.6	91		
2.7	514				52	77	4.45	183	60.9	15.2	89		
2.75	495				51	76	4.5	179	59.5	14.9	88		
2.8	477				49	76	4.55	174	58.1	14.5	87		
2.85	461				48	75	4.6	170	56.8	14.2	86		
2.9	444				47	74	4.65	167	55.5	13.9	85		
2.95	429				45	73	4.7	163	54.3	13.6	84		
3	415		34.6		44	73	4.75	159	53	13.3	83		
3.05	401		33.4		43	72	4.8	156	51.9	13	82		
3.1	388	129	32.3		41	71	4.85	152	50.7	12.7	81		
3.15	375	125	31.3		40	71	4.9	149	49.6	12.4	80		
3.2	363	121	30.3		39	70	4.95	146	48.6	12.2	78		
3.25	352	117	29.3		38	69	5	143	47.5	11.9	77		
3.3	341	114	28.4		37	69	5.05	140	46.5	11.6	76		
3.35	331	110	27.6		36	68	5.1	137	45.5	11.4	75		
3.4	321	107	26.7		35	68	5.15	134	44.6	11.2	74		
3.45	311	104	25.9		34	67	5.2	131	43.7	10.9	72		
3.5	302	101	25.2		33	67	5.25	128	42.8	10.7	71		
3.55	293	97.7	24.5		31	66	5.3	126	41.9	10.5	69		
3.6	285	95	23.7		30	66	5.35	123	41	10.3	69		
3.65	277	92.3	23.1		29	95	5.4	121	40.2	13.1	67		
3.7	269	89.7	22.4		28	65	5.45	118	39.4	9.8	66		
3.75	262	87.2	21.8		27	64	5.5	116	38.6	9.66	65		
3.8	255	84.9	21.2		26	64	5.55	114	37.9	9.46	64		
3.85	248	82.6	20.7		25	63	5.6	111	37.1	9.27	62		
3.9	241	80.4	20.1	100	24	63	5.65	109	36.4	9.1	61		
3.95	235	78.3	19.6	99	23	62	5.7	107	35.7	8.93	59		
4	229	76.3	19.1	98	22	62	5.75	105	35	8.76	58		