



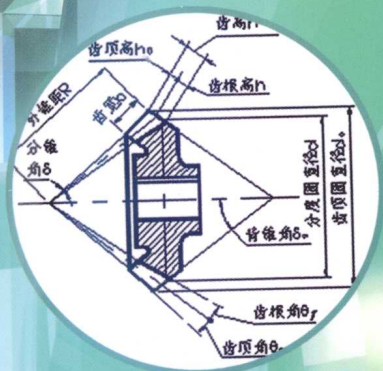
“十一五”重点规划教材

新世纪工程训练系列丛书

# 机械工程训练

## (机械类)

主编 李海越 刘凤臣 管晓光  
主审 李文双



HEUP 哈尔滨工程大学出版社  
Harbin Engineering University Press

## 内 容 简 介

本书突出机械工程训练的实用性、先进性和全面性。全书共分15章,包括绪论、金属材料及热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工基础、车削、铣削、刨削、镗削、齿轮加工、磨削、钳工、数控加工技术、现代加工方法、零件加工工艺和结构工艺性、综合创新训练等主要内容。

本书可以作为高等学校工程训练(或金工实习)的基本教材,适用于机械类专业,其它专业也可选用,还可作为机械制造工程技术人员参考书。

## 图书在版编目(CIP)数据

机械工程训练 / 李海越主编. —哈尔滨: 哈尔滨  
工程大学出版社, 2010. 8

机械类专业适用

ISBN 978 - 7 - 81133 - 872 - 0

I. ①机… II. ①李… III. ①机械工程 - 高等学校 -  
教材 IV. ①TH

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 160258 号

---

出版发行 哈尔滨工程大学出版社  
社 址 哈尔滨市南岗区东大直街 124 号  
邮政编码 150001  
发行电话 0451 - 82519328  
传 真 0451 - 82519699  
经 销 新华书店  
印 刷 哈尔滨市石桥印务有限公司  
开 本 787mm × 1 092mm 1/16  
印 张 21.25  
字 数 515 千字  
版 次 2010 年 8 月第 1 版  
印 次 2010 年 8 月第 1 次印刷  
定 价 38.00 元

<http://press.hrbeu.edu.cn>

E-mail: heupress@hrbeu.edu.cn

---

# 前言

## PREFACE

本书根据教育部教学指导委员会的《普通高等学校工程训练教学基本要求》、《工程材料及机械制造基础教学基本要求》和《普通高等学校工程训练中心建设基本要求》的精神,汲取和总结了新的教学经验与改革成果,结合普通高等学校工程训练基地教学的实际需要,在黑龙江科技学院李文双等主编的《机械工程训练》基础上修订而成。

本教材具有如下特点:

1. 对机械工程训练的知识和技能体系进行了整体优化,以基本要求为基础,教学实际应用为主线。努力做到通俗易懂,实用性强,有利于培养学生的工程实践能力。
2. 工程训练系列教材共三部,本书适用于机械类专业,教材内容突出了基础性与专业性,目的在于引领学生步入机械制造学科的神圣殿堂。
3. 在原教材的基础上,除了对所有内容进行修订外,还新增加了零件加工工艺和结构工艺性、综合创新训练两章。
4. 总结与借鉴了机械工程训练新的教学成果和教学经验,采用了国家新标准。
5. 本教材配有目的与要求、复习思考题和安全操作规程,方便广大师生使用。

本教材由黑龙江科技学院工程训练与基础实验中心组织编写,由李海越、刘凤臣和管晓光主编,其中李海越编写了第1,2,6,14,15章,刘凤臣编写了第11,13章,管晓光编写了第4,5章,徐靖编写了第3章,李光辉编写了第7,8章,孟庆强编写了第9章,徐衍锋编写了第10章,韩明志编写了第12章,全书由李文双主审。

由于编者水平有限,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

编者

2010年7月

<b>第 1 章 绪论</b> .....	1
1.1 机械工程训练的内容 .....	1
1.2 机械工程训练的目的 .....	3
1.3 机械工程训练的要求 .....	4
<b>第 2 章 金属材料及热处理</b> .....	6
2.1 金属材料的性能 .....	6
2.2 常用金属材料 .....	9
2.3 热处理概述 .....	13
2.4 典型钢材的热处理 .....	16
2.5 零件表面处理 .....	18
2.6 钢铁的火花鉴别 .....	20
2.7 其它工程材料 .....	22
2.8 热处理安全操作技术规程 .....	24
复习思考题 .....	24
<b>第 3 章 铸造</b> .....	25
3.1 概述 .....	25
3.2 砂型铸造 .....	26
3.3 铸造合金的熔炼、浇注和落砂 .....	40
3.4 铸件质量检验与缺陷分析 .....	44
3.5 特种铸造 .....	46
3.6 铸造安全操作技术规程 .....	49
复习思考题 .....	49
<b>第 4 章 锻压</b> .....	50
4.1 概述 .....	50
4.2 锻压工艺 .....	50
4.3 锻压件质量检验与缺陷分析 .....	67
4.4 锻压安全操作技术规程 .....	69
复习思考题 .....	70
<b>第 5 章 焊接</b> .....	71
5.1 焊接概述 .....	71
5.2 焊条电弧焊 .....	72
5.3 气焊与气割 .....	83
5.4 其它焊接与切割方法 .....	88
5.5 常见金属材料焊接 .....	97
5.6 焊接结构制造 .....	100
5.7 焊接安全操作技术规程 .....	106
复习思考题 .....	108
<b>第 6 章 切削加工基础</b> .....	109

6.1	概述 .....	109
6.2	切削运动和切削要素 .....	109
6.3	机械零件的加工质量 .....	112
6.4	机械加工工艺装备 .....	114
	复习思考题 .....	122
<b>第7章</b>	<b>车削 .....</b>	<b>123</b>
7.1	概述 .....	123
7.2	卧式车床及其基本操作 .....	124
7.3	车刀及其安装 .....	130
7.4	车床的夹具 .....	137
7.5	车削的基本工作 .....	141
7.6	典型零件车削加工工艺 .....	153
7.7	车削安全操作技术规程 .....	157
	复习思考题 .....	157
<b>第8章</b>	<b>铣削和齿轮加工 .....</b>	<b>160</b>
8.1	铣削概述 .....	160
8.2	铣床及其附件 .....	161
8.3	铣刀及其安装 .....	163
8.4	工件的装夹 .....	165
8.5	铣削典型表面 .....	167
8.6	齿轮加工 .....	172
8.7	铣削安全操作技术规程 .....	175
	复习思考题 .....	175
<b>第9章</b>	<b>刨削和镗削 .....</b>	<b>176</b>
9.1	概述 .....	176
9.2	牛头刨床 .....	177
9.3	刨刀和工件的安装 .....	180
9.4	典型表面的刨削 .....	181
9.5	镗床及镗孔刀具 .....	183
9.6	镗床加工范围及方法 .....	185
9.7	刨削安全操作技术规程 .....	186
	复习思考题 .....	187
<b>第10章</b>	<b>磨削 .....</b>	<b>188</b>
10.1	概述 .....	188
10.2	砂轮 .....	189
10.3	外圆磨床及其磨削工作 .....	191
10.4	平面磨床及其磨削方法 .....	193
10.5	磨削安全操作技术规程 .....	195
	复习思考题 .....	195
<b>第11章</b>	<b>钳工 .....</b>	<b>196</b>
11.1	概述 .....	196

11.2	划线	198
11.3	锉削	203
11.4	锯削	208
11.5	钻孔、扩孔、铰孔、铰孔、攻螺纹和套螺纹	210
11.6	刮削	217
11.7	研磨	219
11.8	典型零件的钳工操作	222
11.9	装配与拆卸	224
11.10	钳工安全操作技术规程	227
	复习思考题	228
<b>第 12 章</b>	<b>数控加工技术</b>	229
12.1	概述	229
12.2	数控机床的组成与分类	233
12.3	数控机床的程序编制	237
12.4	数控车床加工	243
12.5	数控铣床加工	264
12.6	数控加工中心	275
12.7	数控加工安全操作技术规程	279
	复习思考题	280
<b>第 13 章</b>	<b>现代加工方法</b>	282
13.1	概述	282
13.2	电火花加工	285
13.3	电火花线切割加工	290
13.4	激光加工	297
13.5	超声加工	299
13.6	快速原形制造技术	302
	复习思考题	305
<b>第 14 章</b>	<b>零件加工工艺和结构工艺性</b>	306
14.1	基本概念	306
14.2	机械加工工艺规程的制定	310
14.3	工件的安装与定位	311
14.4	零件的结构工艺性和毛坯的选择	313
14.5	典型零件的机械加工工艺过程	315
	复习思考题	319
<b>第 15 章</b>	<b>综合创新训练</b>	321
15.1	创新的概念及特性	321
15.2	工程综合创新训练	323
15.3	综合创新训练的技法	324
15.4	综合创新训练的实施	326
	复习与思考题	328
	参考文献	329

# 第 1 章 绪 论

机械工程训练,又称金工实习或机械制造实习,是一门传授机械制造基础知识和技能的实践性很强的技术基础课,它既是工科院校实践教学不可缺少的重要环节之一,又是“材料成形工艺基础”、“机械制造工艺基础”(原称“金属工艺学”)等课程先修的实践教学环节。

## 1.1 机械工程训练的内容

### 1.1.1 机械制造过程

机械是机器和机构的统称。机器和机构都是人为的组合物,各部分都有确定的相对运动,但机器还能代替人做功或转变能量。

#### 1. 机械制造工程在国民经济中的巨大作用

现代机械制造工程有 5 大服务领域:(1) 研制和提供能量转换机械,包括将热能、化学能、原子能、电能、流体压力能和天然机械能转换为适合于应用的机械能的各种动力机械,以及将机械能转换为所需要的其它能量的能量变换机械;(2) 研制和提供用以生产各种产品的机械,包括农、林、牧、渔业机械和矿山机械以及各种重工业机械和轻工业机械等;(3) 研制和提供从事各种服务的机械,如物料搬运机械,交通运输机械,医疗机械,办公机械,通风、采暖和空调设备以及除尘、净化、消声等环境保护设备等;(4) 研制和提供家庭和个人生活用的机械,如洗衣机、电冰箱、钟表、照相机、运动器械和娱乐器械等;(5) 研制和提供各种机械武器。

各种先进的仪器设备是机械、电子、计算机、自动控制、光学、声学 and 材料科学,甚至化学、生物与环境科学结合与交叉的产物。因此无论学生将来从事何种专业,机械制造工程的学习对他们的未来发展都会起着重要作用。

机械制造是人类按照市场的需求,运用主观掌握的知识和技能,借助于手工或可以利用的客观物质工具,采用有效的工艺方法和必要的能源,将原材料转化为最终机械产品,投放市场并不断完善的全过程。可以描述为宏观过程和具体过程。

#### 2. 机械制造的宏观过程

机械制造的宏观过程如图 1-1 所示,首先设计图纸,再根据图纸制定工艺文件和进行工装的准备,然后是产品制造,最后是市场营销。再将各个阶段的信息反馈回来,使产品不断完善。

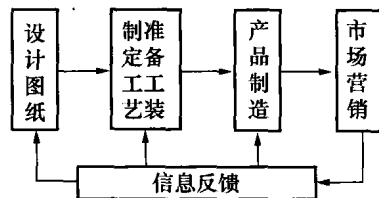


图 1-1 机械制造的宏观过程

#### 3. 机械制造的具体过程

机械制造的具体过程如图 1-2 所示。原材料包括生铁、钢锭、各种金属型材及非金属材料等。将原材料用铸造、锻造、冲压、焊接等方法制成零件的毛坯(或半成品、成品),再经过切削加工、特种加工制成零件,最后将零件和电子元器件装配成合格的机电产品。

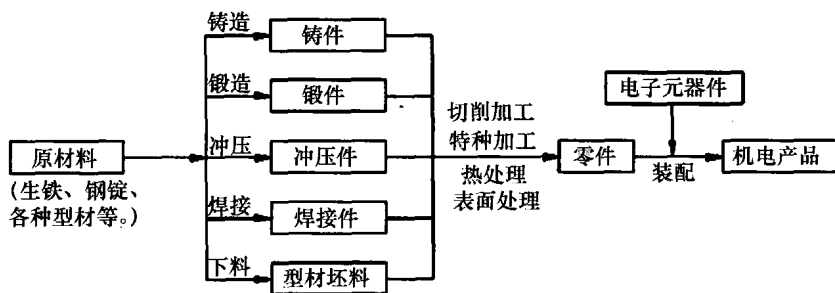


图 1-2 机械制造的具体过程

现将机械制造过程中的主要工艺方法简介如下：

(1) 铸造 铸造是把熔化的金属液浇注到预先制作的铸型型腔中,待其冷却凝固后获得铸件的加工方法。铸造的主要优点是可以生产形状复杂、特别是内腔复杂的毛坯,而且成本低廉。铸造的应用十分广泛,在一般机械中,铸件的质量大都占整机质量的 50% 以上,如各种机械的机体、机座、机架、箱体和工作台等,大都采用铸件。

(2) 锻造 锻造是将金属加热到一定温度,利用冲击力或压力使其产生塑性变形而获得锻件的加工方法。锻件的组织比铸件致密,力学性能高,但锻件形状所能达到的复杂程度远不如铸件,锻造零件的材料利用率也较低。各种机械中的传动零件和承受重载及复杂载荷的零件,如主轴、传动轴、齿轮、凸轮、叶轮和叶片等,其毛坯大多采用锻件。

(3) 冲压 冲压是利用压力机和专用模具,使金属板料产生塑性变形或分离,从而获得零件或制品的加工方法。冲压通常在常温下进行。冲压件具有质量轻、刚度好和尺寸精度高等优点,各种机械和仪器、仪表中的薄板成形件及生活用品中的金属制品,绝大多数都是冲压件。

(4) 焊接 焊接是利用加热或加压(或两者并用),使两部分分离的金属件通过原子间的结合,形成永久性连接的加工方法。焊接具有连接质量好、节省金属和生产率高等优点。焊接主要用于制造金属结构件,如锅炉、容器、机架、桥梁和船舶等,也可制造零件毛坯,如某些机座和箱体等。

(5) 下料 下料是将各种型材利用气割、机锯或剪切等而获得零件坯料的一种方法。

(6) 非金属成形 非金属成形在各种机械零件和构件中,除采用金属材料外,还采用非金属材料,如木材、玻璃、橡胶、陶瓷、皮革和工程塑料等。非金属材料的成形方法因材料的种类不同而有异,例如,橡胶制品是通过塑炼、混炼、成形和硫化等过程制成;陶瓷制品是利用天然或人工合成的粉状化合物,经过成形和高温烧结制成的;工程塑料制品是将颗粒状的塑料原材料,在注塑机上加热熔融后注入专用的模具型腔内冷却后制成的。

(7) 切削加工 切削加工是利用切削工具(主要是刀具)和工件作相对运动,从毛坯和型材坯料切除多余的材料,获得尺寸精度、形状精度、位置精度和表面粗糙度完全符合图样要求的零件的加工方法。切削加工包括机械加工(简称机工)和钳工两大类。机工主要是通过工人操纵机床来完成切削加工的,常见的机床有车床、铣床、刨床和磨床等,相应的加工方法称为车削、铣削、刨削和磨削等。钳工一般是通过工人手持工具进行切削加工的,其基本操作包括锯削、锉削、刮削、攻螺纹、套螺纹和研磨等,通常把钻床加工也包括在钳工范围内,如钻孔、扩孔和绞孔等。

(8) 特种加工 特种加工是相对传统切削加工而言的。切削加工主要依靠机械能,而



特种加工是直接利用电、光、声、化学、电化学等能量形式来去除工件多余材料的。特种加工的方法很多,常用的有电火花、电解、激光、超声波、电子束和离子束加工等,主要用于各种难加工材料、复杂结构和特殊要求工件的加工。

(9) 热处理 热处理是将固态金属在一定的介质中加热、保温后以某种方式冷却,以改变其整体或表面全相组织而获得所需性能的加工方法。在毛坯制造和切削加工过程中常常要对工件进行热处理。通过热处理可以提高材料的强度和硬度,或者改善其塑性和韧性,充分发挥金属材料性能潜力,满足不同的使用要求或加工要求。重要的机械零件在制造过程中大都要经过热处理。常用的热处理方法有退火、正火、淬火、回火和表面热处理等。

(10) 表面处理 表面处理是在保持材料内部组织和性能的前提下,改善其表面性能(如耐磨性、耐腐蚀性等)或表面状态的加工方法。除表面热处理外,表面处理常用的还有电镀、磷化、发蓝和喷塑等。

(11) 装配 装配是将加工好的零件及电子元器件按一定顺序和配合关系组装成部件和整机,并经过调试和检验使之成为合格产品的工艺过程。

(12) 热加工和冷加工 在单件小批生产中,习惯把铸造、锻造、焊接和热处理称为热加工,把切削加工和装配称为冷加工。

### 1.1.2 机械工程训练的内容

按照教育部《普通高等学校工程训练教学基本要求》等有关文件的精神,机械类专业机械工程训练应安排铸热、锻压、焊接、车工、铣刨、磨工、钳工、特种加工和数控加工等工种的训练。具体训练内容如下:

- (1) 常用钢铁材料及热处理的基本知识;
- (2) 冷热加工的主要加工方法及加工工艺;
- (3) 冷热加工所用设备、附件及其工、夹、量、刀具的大致结构、工作原理和使用方法。

### 1.1.3 机械工程训练的教学环节

训练在工程训练基地(或中心)内按工种进行。教学环节有实际操作、现场演示和训练讲课等。

(1) 实际操作是训练的主要环节,通过实际操作获得各种加工方法的感性知识,初步学会使用有关的设备和工具。

(2) 现场演示在实际操作的基础上进行,以扩大必要的工艺知识面。

(3) 训练讲课包括概论课、理论课和专题讲座。

## 1.2 机械工程训练的目的

机械工程训练的目的在于学习工艺知识,增强实践能力,提高综合素质,培养创新意识和创新能力。

### 1.2.1 学习工艺知识

学生应该具备较强的基础理论知识和专业技术知识外,还必须具备一定的机械制造的

基本工艺知识。与一般的理论课程不同,学生在机械工程训练中,主要是通过自己的亲身实践来获取机械制造的基本工艺知识。这些工艺知识都是非常具体、生动而实际的,对于各专业的学生学习后续课程、进行毕业设计乃至以后的工作,都是必要的基础。

### 1.2.2 增强实践能力

这里所说的实践能力,包括动手能力,在实践中获取知识的能力,以及运用所学知识和技能独立分析和亲手解决工艺技术问题的能力。这些能力,对于大学生是非常重要的,而这些能力只能通过训练、实验、作业、课程设计和毕业设计等实践性课程或教学环节来培养。

在机械工程训练中,学生自己动手操作各种机器设备,使用各种工、夹、量、刀具,接触实际生产过程。

### 1.2.3 提高综合素质

作为一个工程技术人员,应具有较高的综合素质,即应具有坚定正确的政治方向,艰苦奋斗的创业精神,团结勤奋的工作态度,严谨求实的科学作风,良好的心理素质及较高的工程素质等。

工程素质是指人在有关工程实践工作中所表现出的内在品质和作风,它是工程技术人员必须具备的基本素质。工程素质的内涵应包括工程知识、工程意识和工程实践能力。其中工程意识包括市场、质量、安全、群体、环境、社会、经济、管理、法律等方面的意识。机械工程训练是在生产实践的特殊环境下进行的,对大多数学生来说是第一次接触工人,第一次用自身的劳动为社会创造物质财富,第一次通过理论与实践的结合来检验自身的学习效果,同时接受社会化生产的熏陶和组织性、纪律性的教育。学生将亲身感受到劳动的艰辛,体验到劳动成果的来之不易,增强对劳动人民的思想感情,加强对工程素质的认识。所有这些,对提高学生的综合素质,必然起到重要的作用。

### 1.2.4 培养创新意识和创新能力

培养学生的创新意识和创新能力,最初启蒙式的潜移默化是非常重要的。在工程训练中,学生要接触到几十种机械、电气与电子设备,并了解、熟悉和掌握其中一部分设备的结构、原理和使用方法。这些设备都是前人和今人的创造发明,强烈地映射出创造者们历经长期追求和苦苦探索所燃起的智慧火花。在这种环境下学习,有利于培养学生的创新意识。在训练过程中,还要有意识地安排一些自行设计、自行制作的创新训练环节,以培养学生的创新能力。

## 1.3 机械工程训练的要求

### 1.3.1 机械工程训练的特点

机械工程训练以实践为主,学生必须在教师的指导下,独立操作,它不同于一般理论性课程,其特点如下:

(1) 它没有系统的理论、定理和公式,除了一些基本原则以外,大都是一些具体的生产

经验和工艺知识;

- (2) 学习的课堂主要不是教室,而是具有很多仪器设备的训练室或实验室;
- (3) 学习的对象主要不是书本,而是具体生产过程;
- (4) 教学不仅有教师,而且以工程技术人员和现场教学指导人员为主导。

### 1.3.2 机械工程训练的学习

因为机械工程训练具有实践性教学特点,所以,学生的学习方法也应作相应的调整和改变。

- (1) 要善于在实践中学习,注重在生产过程中学习工艺知识和基本技能;
- (2) 要注意训练教材的预习和复习,按时完成训练作业、日记、报告等;
- (3) 要严格遵守规章制度和安全操作规程,重视人身和设备的安全;
- (4) 建议学生按照以下认知过程学习。

教学目的导向→预习复习→认真听讲→记好日记→遵章守纪→积极操作→确保安全→循序渐进→听从安排→完成作业(件)→主动学习→勇于创新→提高素质能力。

### 1.3.3 机械工程训练,安全第一

安全教学和生产对国家、集体、个人都是非常重要的。安全第一,既是完成机械工程训练学习任务的基本保证,也是培养合格的高质量工程技术人员应具备的一项基本的工程素质。在整个机械工程训练中,学生要自始至终树立安全第一的思想,必须遵守规章制度和安全操作技术规程,时刻警惕,不要有麻痹大意的情绪。

## 第2章 金属材料及热处理

### 【目的与要求】

1. 了解表面处理的一些方法、特点和应用；
2. 了解一些热处理生产环境保护知识；
3. 掌握金属材料热处理主要生产工艺过程及其特点；
4. 掌握热处理的安全技术操作规程；
5. 熟悉常用钢铁材料的种类、牌号、性能特点及选用。

### 2.1 金属材料的性能

金属材料的性能是指用来说明金属材料在给定条件下的行为参数。其性能主要表现在两个方面：一个是使用性能，一个是工艺性能。使用性能是指物理、化学、力学等方面的性能，工艺性能是指铸造、热处理、锻压、焊接、切削加工等方面的性能。

#### 2.1.1 物理性能和化学性能

##### 1. 物理性能

金属材料的物理性能主要包括密度、熔点、导热性、导电性、磁性、热膨胀性等。

密度是指在同一温度下单位体积物质的质量，一般用 $\rho$ 表示，单位为 $\text{g}/\text{cm}^3$ 或 $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

熔点是指材料在缓慢加热时由固态转变为液态并有一定潜热吸收或放出时的转变温度。

导热性是指材料传导热量的能力。用热导率 $\lambda$ 表示，单位为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。

导电性是指材料传导电流的能力。用电导率 $\gamma$ 表示，单位为 $\text{S}/\text{m}$ 。

磁性是指材料在磁场中能被磁化或导磁的能力。也称为导磁性。一般用磁导率 $\mu$ 表示，单位为 $\text{H}/\text{m}$ 。

热膨胀性是指材料因温度改变而引起体积变化的现象，一般用线膨胀系数表示。

##### 2. 化学性能

化学性能也就是指金属材料的化学稳定性，包含抗氧化性和耐蚀性。耐蚀性包含耐酸性和耐碱性。在腐蚀性介质中或在高温下服役的零部件比在正常的室温条件下腐蚀强烈。在设计这类零部件时应考虑选用化学稳定性比较好的合金钢。

#### 2.1.2 力学性能

金属材料在外力作用下所表现出的各项性能指标统称为金属材料的力学性能，有四大力学性能指标：强度、塑性、硬度、韧性。力学性能是金属材料的主要性能，是机械设计、制造选择材料的主要依据。

##### 1. 强度

金属材料在载荷的作用下抵抗变形和开裂的能力称为强度。其数值测定是按国家标准

规定的标准试样(如图 2-1 所示)在试验机上测出的。

根据试样在拉伸过程中承受的载荷和产生的变形量之间的关系可以获得拉伸曲线,如图 2-2 所示。试样在拉伸过程中可以看出有以下几个变形阶段:

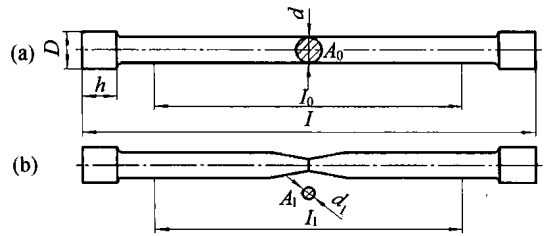


图 2-1 标准拉伸试样

(1) 弹性变形阶段 *oe*

这个阶段载荷  $P$  低于  $P_e$ , 伸长量与拉力成正比, 试样只产生弹性变形, 当外力去除后, 试样能恢复到原来的长度。  $P_e$  为能恢复原状的最大拉力, 弹性极限用  $\sigma_e$  表示。

(2) 屈服阶段 *es*

载荷达到  $P_s$  时曲线出现一个平台或锯齿形线段, 这时不再增加载荷试样仍继续变形。屈服强度就是指材料开始屈服时的应力。屈服现象结束后曲线继续上升, 表明试样又能承受更大的载荷了, 材料在屈服点后得到了强化, 这种现象叫屈服强化或形变强化, 也叫冷作硬化或加工硬化。屈服强度用  $\sigma_s$  表示, 单位用 MPa 表示。其计算公式为

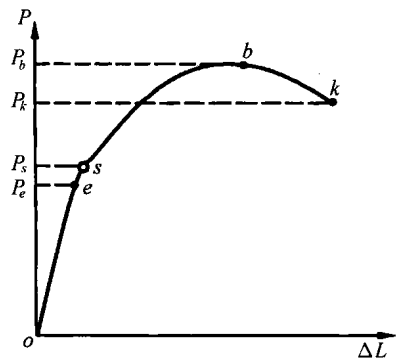


图 2-2 低碳钢的拉伸曲线图

$$\sigma_s = \frac{P_s}{A_0}$$

式中  $\sigma_s$ ——屈服强度;

$P_s$ ——试样产生屈服时的最小载荷, 单位用 N 表示;

$A_0$ ——试样原始横截面积, 单位用  $\text{mm}^2$  表示。

(3) 强化阶段 *sb*

当载荷超过  $P_s$  后, 试样的伸长量又与载荷成曲线关系上升。在载荷增加不大的情况下而变形量却较大, 表明这时试样产生大量的塑性变形。图中  $P_b$  是试样拉伸时的最大载荷。材料在拉断前所承受的最大拉应力称为抗拉强度, 用  $\sigma_b$  表示。其计算公式为

$$\sigma_b = \frac{P_b}{A_0}$$

式中  $\sigma_b$ ——抗拉强度, 单位用 MPa 表示;

$P_b$ ——试样断裂前所承受的最大载荷, 单位用 N 表示;

$A_0$ ——试样原始横截面积, 单位用  $\text{mm}^2$  表示。

$\sigma_b$  越大说明材料抵抗破坏的能力越强, 所以说  $\sigma_b$  是一个重要的强度指标。

(4) 颈缩阶段 *bk*

当载荷超过  $P_b$  时, 试样的局部截面开始变小, 这种现象称为“颈缩”。试样局部截面越来越小, 载荷也会越来越小, 当载荷达到曲线上的  $k$  点时, 试样被拉断。

屈服强度和抗拉强度是评定材料性能的主要指标, 也是设计零件的主要依据。

## 2. 塑性

金属材料在外力的作用下产生永久变形而不断裂的能力称为塑性。常用的塑性指标是拉断后的断后伸长率(也叫延伸率) $\delta$ 和断面收缩率 $\Psi$ 。

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

$$\Psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中  $l_0$ ——试样原来的长度, mm;

$l_1$ ——试样拉断时的长度, mm;

$A_0$ ——试样原来的截面积, mm<sup>2</sup>;

$A_1$ ——试样断裂处的截面积, mm<sup>2</sup>。

## 3. 硬度

金属材料抵抗其它更硬的物体压入其表面的能力称为硬度。硬度是衡量金属材料的一个重要指标,是体现金属材料表面抵抗局部塑性变形、压痕或划痕的能力。

### (1) 布氏硬度(HBS / HBW)

把规定直径的淬火钢球(HBS)或硬质合金球(HBW)以一定的试验力压入被测材料表面,如图2-3所示,保持规定时间后测量压痕直径,经计算得出布氏硬度值。HBS适合打硬度值在450以下的材料,HBW适合打硬度值在650以下的材料。所测得的硬度值按下式计算:

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

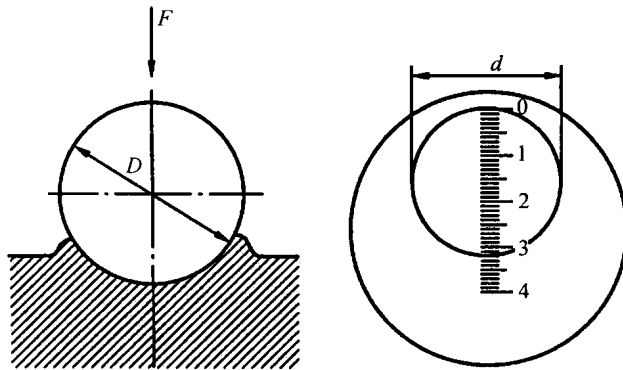


图2-3 布氏硬度试验原理

### (2) 洛氏硬度(HRA / HRB / HRC)

试验原理如图2-4所示。图中1为初始试验力压入位置,2为总试验力压入位置并保持规定时间,3为保持初始试验力的回弹位置。

由于被测材料越硬,压入深度增量 $h$ 越小,这与布氏硬度所标记的硬度值大小的概念相矛盾。为了与习惯上数值越大硬度越高的概念相一致,采用常数 $K$ 减去压入深度 $h$ 来表示硬度值。为简便起见又规定每0.002 mm压入深度为一个硬度单位。洛氏硬度的计算公式如下:

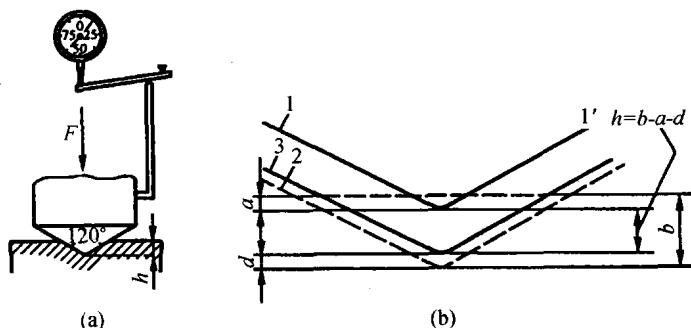


图 2-4 洛氏硬度试验原理

$$HR = \frac{K - h}{0.002}$$

式中  $HR$ ——硬度；

$K$ ——常数(金刚石压头  $K$  取 0.2; 淬火钢球压头  $K$  取 0.26)；

$h$ ——压入深度增量。

实际操作中,洛氏硬度值可以直接在硬度试验机的表盘上读出。由于压头和施加试验力的不同,洛氏硬度有多种标尺,常用的有 HRA、HRC、HRB。各种洛氏硬度标尺的试验条件和应用范围见表 2-1。

### (3) 维氏硬度(HV)

维氏硬度采用金刚石正棱角锥,可以准确测量金属零件的表面硬度或测量硬度很高的零件。一般用于测量氮化硬度。

### 4. 冲击韧性

材料抵抗冲击载荷作用的能力称为冲击韧性。通常以材料被冲断所消耗的冲击能量来衡量冲击韧性的大小。一般用材料单位横截面积的冲击消耗能量  $a_k$  ( $J/cm^2$ ) 作为冲击韧性指标。

$$a_k = \frac{A_k}{S_0}$$

式中  $a_k$  是冲击韧性指标 ( $J/cm^2$ ) ;  $A_k$  是冲击消耗能量 ( $J$ ) ;  $S_0$  是试样缺口处最小横截面积。

## 2.2 常用金属材料

金属材料一般分为四大类：

- (1) 工业纯铁 ( $C \leq 0.0218\%$ ) , 一般不用来制造机械零件；
- (2) 钢 ( $0.0218\% < C \leq 2.11\%$ ) ;
- (3) 铸铁 ( $2.11\% < C \leq 6.69\%$ ) ;
- (4) 有色金属, 一般包括铝、铜及其合金等。

### 2.2.1 钢的分类及应用

#### 1. 钢的分类

- (1) 按化学成分分类

① 碳钢:按碳的含量不同可分为低碳钢( $C \leq 0.25\%$ )、中碳钢( $0.25\% < C \leq 0.6\%$ )、高碳钢( $C > 0.6\%$ )。

② 合金钢:按合金元素的含量不同可分为低合金钢(合金元素含量  $< 5\%$ )、中合金钢(合金元素含量为  $5\% \sim 10\%$ )、高合金钢(合金元素含量  $> 10\%$ )。

(2) 按硫磷含量分类

① 普通钢( $S \leq 0.05\%$ ,  $P \leq 0.045\%$ );

② 优质钢( $S \leq 0.035\%$ ,  $P \leq 0.035\%$ );

③ 高级优质钢( $S \leq 0.02\%$ ,  $P \leq 0.03\%$ )。

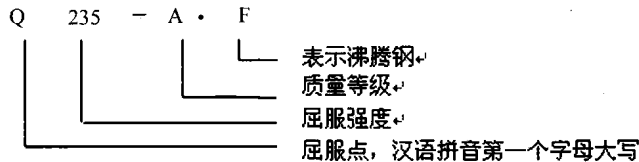
(3) 按使用特性分类

结构钢;工具钢;特殊性能钢。

## 2. 碳钢的牌号、主要性能及用途

(1) 普通碳素结构钢

常用的 Q235 - A · F 代号示意如下:



普通碳素结构钢由于焊接性能好而强度不高,一般用于制造受力不大的机械零件,如地脚螺钉、钢筋、套环及一些农机配件。另外也用于工程结构件如桥梁、高压线塔、建筑构件等。

(2) 优质碳素结构钢

优质碳素结构钢的牌号是用两位数表示平均含碳量的万分比,如:08F、45、65Mn 等。

(3) 碳素工具钢

常用的碳素工具钢牌号中“T”是“碳”的汉语拼音字母的字首,数字表示平均含碳量的千分比,如 T8、T10、T12A 等。

(4) 碳素铸钢

在一些工程机构上,个别零件由于形状复杂而难于用锻造和切削加工等方法来完成,同时又要求具有相当的强度,用铸铁满足不了性能要求,因此用碳素钢经熔化铸造而成。常用的碳素铸钢牌号、化学成分和力学性能见表 2-1。牌号中“ZG”是“铸钢”的汉语拼音的字母字首,后边两组数字中第一组表示屈服点,第二组表示抗拉强度。

表 2-1 常用碳素铸钢的牌号、成分和力学性能以及用途

牌号	$M_e \times 100$				室温力学性能(不小于)					用途举例
	$\omega(C) \leq$	$\omega(Si) \leq$	$\omega(Mn) \leq$	$\omega(P) \leq$	$\sigma_s(\sigma_{0.2}) / MPa$	$\sigma_b / MPa$	$\delta \times 100\%$	$\psi \times 100\%$	$A_{kv} / J$	
ZG200-400	0.20	0.50	0.80	0.04	200	400	25	40	30	良好的塑性、韧性及焊接性,用于受力不大的机械零件,如机座及变速箱壳等



表 2-1(续)

牌号	$M_e \times 100$				室温力学性能(不小于)					用途举例
	$\omega(\text{C})$ $\leq$	$\omega(\text{Si})$ $\leq$	$\omega(\text{Mn})$ $\leq$	$\omega(\text{P})$ $\leq$	$\sigma_s(\sigma_{0.2})$ /MPa	$\sigma_b$ /MPa	$\delta$ $\times 100\%$	$\psi$ $\times 100\%$	$A_{kv}$ /J	
ZG230 -450	0.30	0.50	0.90	0.04	230	450	22	32	25	一定的强度和好的塑性、韧性、焊接性。用于受力不大、韧性好的机械零件,如外壳、轴承盖、阀体、犁柱等
ZG270 -500	0.40	0.50	0.90	0.04	270	500	18	25	22	较高的强度、较好的塑性,铸造性良好,切削性好,用于轧钢机机架、轴承座、连杆、箱体、曲轴、缸体等
ZG310 -570	0.50	0.60	0.90	0.04	310	570	15	21	15	强度和切削性能好,塑性和韧性较低,用于载荷较高的大齿轮、缸体、制动轮、辘子等
ZG340 -640	0.60	0.60	0.90	0.04	340	640	10	18	10	高的强度和耐磨性,切削性好,焊接性差,流动性好,裂纹敏感性较大,用作齿轮、棘轮等

### 3. 合金钢的分类及牌号

所谓合金钢就是在碳钢的基础上加入某些合金元素,以便提高钢的某些性能。

合金钢可分为合金结构钢、合金工具钢、特种性能钢。

(1) 合金结构钢 含碳量为万分比,合金元素含量为百分比,合金元素含量小于1.5%时只标符号而不标含量。如42CrMo含碳量为0.42%,铬、钼的含量均小于1.5%。

(2) 合金工具钢 含碳量小于1%时的为千分比,含碳量大于或等于1%时不标出。如9CrSi表示含碳量为0.9%。