

工程训练

(工科非机械类)

罗凤利 李素燕 徐衍锋 主编



工程训练（工科非机械类）

主编 罗凤利 李素燕 徐衍锋
参编 徐靖 李光辉 刘安平 梁志强
主审 都维刚



机械工业出版社

本书作为工程训练实习教材,力求突出实用性、应用性和综合性,培养学生的工程意识和工程实践能力。本书在突出机械工程基本训练的基础上,也包括电气工程训练。机械工程基本训练包括工程训练概述、工程材料及金属热处理、铸造、锻压、焊接、切削加工基础知识、车削、铣削、钳工、数控加工技术、现代加工方法。电气工程训练包括电气工程训练基础和三相异步电动机控制电路。教材最后有综合创新训练内容。

本书可以作为高等工科院校工科非机械类专业工程训练(或金工实习)教材,也可作为机电工程技术人员的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

工程训练:工科非机械类/罗凤利,李素燕,徐衍锋主编.
—北京:机械工业出版社,2017.2
ISBN 978-7-111-55480-6

I. ①工… II. ①罗…②李…③徐… III. ①机械制造工艺—高等学校—教材 IV. ①TH16

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第008717号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)
策划编辑:宋亚东 责任编辑:宋亚东
责任印制:常天培 责任校对:段凤敏
北京京丰印刷厂印刷
2017年1月第1版·第1次印刷
184mm×260mm·16.25印张·396千字
0 001—3 000册
标准书号:ISBN 978-7-111-55480-6
定价:39.80元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线:010-88379833

机工官网:www.cmpbook.com

读者购书热线:010-88379649

机工官博:weibo.com/cmp1952

教育服务网:www.cmpedu.com

封面无防伪标均为盗版

金书网:www.golden-book.com

前 言

本书根据教育部教学指导委员会发布的《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》《普通高等学校工程训练中心建设基本要求》的精神,汲取和总结了近年来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,在黑龙江科技大学都维刚等主编的《机械工程训练》(非机工科类)教材、邵文晔等主编的《电气工程训练》讲义的基础上修订而成。

本书具有如下特点:

1. 对机械工程训练及电气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,以实际应用为主线,努力做到通俗易懂、图文并茂、实用性强。

2. 本书适合工科非机械类专业的师生使用,内容突出了基础性与认知性,目的在于吸引学生学习工艺基本知识、培养工程意识、增强工程实践能力和创新意识。

3. 本书总结与借鉴了工程训练近年来的教学成果和教学经验,并采用了新的国家标准。

4. 本书每章都配有“目的与要求”、“复习思考题”和“安全操作技术规程”板块,方便广大师生使用。

本书由黑龙江科技大学工程训练与基础实验中心组织编写,由罗凤利、李素燕、徐衍锋担任主编,徐靖、李光辉、刘安平、梁志强参加了编写。具体分工如下:罗凤利编写了第1、6、7、8、12章,李素燕编写了第3、4、5、9章,徐衍锋编写了第10、14章,徐靖编写了第2章,李光辉、梁志强编写了第11章,刘安平编写了第13章。全书由都维刚主审。

由于编者水平有限,书中难免存在不妥之处,恳请读者批评指正。

编 者

目 录

前言

第1章 工程训练概述	1
1.1 工程训练的内容	1
1.1.1 产品生产过程	1
1.1.2 工程训练的内容	2
1.1.3 工程训练的教学环节	2
1.2 工程训练的目的	2
1.2.1 掌握基础理论知识	2
1.2.2 增强实践能力	3
1.2.3 提高综合素质	3
1.2.4 培养创新意识和创新能力	3
1.3 工程训练的要求	3
1.3.1 工程训练的教学特点	3
1.3.2 工程训练的学习方法	4
1.3.3 工程训练安全知识	4
第2章 工程材料及金属热处理	5
2.1 金属材料的性能	5
2.1.1 物理性能和化学性能	5
2.1.2 力学性能	5
2.2 常用金属材料	7
2.2.1 钢的分类及应用	7
2.2.2 铸铁的分类及应用	8
2.2.3 有色金属	9
2.3 热处理概述	9
2.3.1 常用的热处理方法	9
2.3.2 几种常见设备	11
2.4 零件表面处理	11
2.4.1 零件的表面淬火	12
2.4.2 零件的化学热处理	12
2.4.3 发黑	12
2.5 非金属材料及复合材料	13
2.5.1 非金属材料	13
2.5.2 复合材料	14
2.6 热处理安全操作技术规程	15
2.6.1 热处理的特点	15
2.6.2 热处理的安全技术规程	15
复习思考题	15

第3章 铸造	16
3.1 概述	16
3.1.1 铸造的概念及其特点	16
3.1.2 常用铸造方法	17
3.2 砂型铸造	17
3.2.1 砂型铸造的工艺过程	17
3.2.2 砂型准备	17
3.2.3 造型与制芯	19
3.2.4 模样与芯盒的制造	22
3.2.5 浇注系统的设置	23
3.2.6 冒口与冷铁	24
3.2.7 合型	24
3.3 铸造合金的熔炼、浇注和落砂	25
3.3.1 铸造合金的熔炼	25
3.3.2 铸件的浇注	27
3.3.3 铸件的落砂与清理	27
3.4 铸件质量检验与缺陷分析	28
3.4.1 铸件质量检验	28
3.4.2 铸件缺陷分析	28
3.5 特种铸造	31
3.5.1 金属型铸造	31
3.5.2 压力铸造	31
3.5.3 熔模铸造	31
3.5.4 离心铸造	31
3.5.5 消失模铸造	31
3.6 铸造安全操作技术规程	32
复习思考题	32
第4章 锻压	33
4.1 概论	33
4.1.1 锻造	33
4.1.2 冲压	33
4.2 锻压工艺	33
4.2.1 自由锻	33
4.2.2 胎模锻	38
4.2.3 模锻	38
4.2.4 板料冲压	39
4.3 锻压件质量检验与缺陷分析	40

4.3.1 锻件质量检验	40	7.1 概述	72
4.3.2 锻件缺陷分析	40	7.2 卧式车床及其基本操作	73
4.4 锻压安全操作技术规程	42	7.2.1 CA6136 型卧式车床的型号	73
复习思考题	42	7.2.2 CA6136 型卧式车床的组成	73
第5章 焊接	43	7.2.3 CA6136 型卧式车床的操作 系统	75
5.1 焊接基础	43	7.3 车刀及其安装	76
5.1.1 焊接的原理	43	7.3.1 车刀的组成	76
5.1.2 焊接方法的特点	43	7.3.2 车刀的刀具材料	77
5.1.3 焊接方法的应用	44	7.3.3 车刀的分类	77
5.2 焊条电弧焊与气焊	44	7.3.4 车刀的安装	78
5.2.1 焊条电弧焊	44	7.3.5 车刀和工件的冷却及润滑	78
5.2.2 气焊	52	7.4 车床夹具	79
5.3 其他焊接方法	54	7.4.1 自定心卡盘	79
5.3.1 气体保护焊	54	7.4.2 顶尖	79
5.3.2 电阻焊	56	7.5 车削操作及加工	80
5.3.3 钎焊	57	7.5.1 车削操作要点	80
5.3.4 焊接新技术简介	57	7.5.2 各种表面的车削加工	82
5.4 常见金属材料焊接	58	7.6 车削安全操作技术规程	85
5.4.1 金属材料焊接性及评定方法	58	复习思考题	86
5.4.2 钢及铸铁	59	第8章 铣削	87
5.4.3 焊接质量分析	60	8.1 概述	87
5.5 焊接切割	61	8.2 铣床及其附件	88
5.5.1 气割	61	8.2.1 卧式万能铣床	88
5.6 焊接安全操作技术规程	62	8.2.2 摇臂万能铣床	88
5.6.1 焊条电弧焊安全操作技术 规程	62	8.2.3 附件	88
5.6.2 气焊与气割安全操作技术 规程	63	8.3 铣刀及其材料	89
复习思考题	63	8.3.1 带柄铣刀	89
第6章 切削加工基础知识	64	8.3.2 带孔铣刀	90
6.1 概述	64	8.4 工件的装夹	91
6.2 切削运动和切削要素	64	8.5 铣削典型表面	92
6.2.1 机械加工的切削运动	64	8.5.1 铣水平面和垂直面	92
6.2.2 机械加工的切削用量三要素	65	8.5.2 铣斜面	92
6.3 机械零件的加工质量	66	8.5.3 铣沟槽	93
6.3.1 零件的表面质量	66	8.5.4 铣成形面	93
6.3.2 零件的加工精度	67	8.6 齿形加工	93
6.4 机械加工工艺装备	68	8.6.1 成形法	94
6.4.1 刀具	68	8.6.2 展成法	94
6.4.2 夹具	68	8.7 铣削安全操作技术规程	95
6.4.3 量具	68	复习思考题	96
复习思考题	71	第9章 钳工	97
第7章 车削	72	9.1 概述	97
		9.2 钳工常用的设备	97

9.3 划线	100	10.3.3 程序编制的内容和步骤	127
9.3.1 划线的分类及作用	100	10.3.4 程序结构	128
9.3.2 划线的工具及用途	100	10.4 数控车床简介	130
9.3.3 划线基准的选择	103	10.4.1 数控车床的基础知识	130
9.3.4 划线操作的注意事项	104	10.4.2 数控车削加工示例	132
9.4 锉削	104	10.5 数控铣床简介	133
9.4.1 锉削工具	105	10.5.1 数控铣床的基础知识	133
9.4.2 锉削姿势要领	106	10.5.2 数控铣削加工示例	134
9.4.3 平面锉削步骤及方法	107	10.6 加工中心简介	135
9.4.4 锉削的注意事项	108	10.6.1 加工中心的基础知识	135
9.5 锯削	109	10.6.2 加工中心的分类与结构特点	136
9.5.1 锯削工具	109	10.6.3 加工中心的主要功能	136
9.5.2 锯削步骤及方法	109	10.6.4 加工中心的加工范围	136
9.5.3 锯削的注意事项	111	10.7 数控机床加工操作	138
9.6 钻孔	111	复习思考题	139
9.6.1 钻头	111	第11章 现代加工方法	140
9.6.2 钻孔步骤及方法	112	11.1 概述	140
9.6.3 钻孔的注意事项	112	11.1.1 现代加工方法的产生与特点	140
9.7 攻螺纹和套螺纹	112	11.1.2 现代加工方法的分类	141
9.7.1 攻螺纹	113	11.2 电火花加工	143
9.7.2 套螺纹	114	11.2.1 电火花加工的基本原理和设备组成	143
9.8 刮削和研磨	114	11.2.2 电火花加工的特点及其应用	145
9.8.1 刮削	114	11.2.3 电火花加工工艺方法分类	146
9.8.2 研磨	115	11.3 电火花线切割加工	147
9.9 装配与拆卸	116	11.3.1 电火花线切割加工的基本原理和设备组成	147
9.9.1 装配	116	11.3.2 线切割加工的特点及其应用	149
9.9.2 拆卸	117	11.3.3 电火花线切割加工的主要工艺指标及影响因素	150
9.10 典型零件的钳工操作	118	11.3.4 电火花线切割加工安全操作技术规程	150
9.11 钳工安全操作技术规程	119	11.4 激光加工	151
复习思考题	119	11.4.1 激光加工的基本原理和设备组成	151
第10章 数控加工技术	121	11.4.2 激光加工的特点及其应用	152
10.1 概述	121	11.5 超声加工	153
10.1.1 机床数控技术的发展简史及发展趋势	121	11.5.1 超声加工的基本原理和设备组成	153
10.1.2 数控机床的工作原理与应用特点	122	11.5.2 超声加工的特点及其应用	154
10.1.3 数控加工过程	123		
10.2 数控机床的组成与分类	124		
10.2.1 数控机床的组成	124		
10.2.2 数控机床的分类	125		
10.3 数控加工编程	126		
10.3.1 数控加工编程方法	126		
10.3.2 数控机床的坐标系	126		

11.6 快速原形制造技术	156	13.1.1 电动机的结构	220
11.6.1 光敏树脂液相固化成形	156	13.1.2 电动机的接线	223
11.6.2 选择性激光粉末烧结成形	157	13.2 三相异步电动机的控制电路	224
11.6.3 薄片分层叠加成形	157	13.2.1 点动正转控制电路	224
11.6.4 熔丝堆积成形	158	13.2.2 连续正转控制电路	226
复习思考题	159	13.2.3 三相异步电动机的正反转控制 电路	227
第12章 电气工程训练基础知识	160	13.2.4 自动往返控制电路	230
12.1 安全用电	160	13.2.5 降压起动控制电路	231
12.1.1 触电的种类	160	13.2.6 顺序控制电路	236
12.1.2 常见的触电方式	160	13.3 电气控制电路故障检查方法	238
12.1.3 常见的触电原因及预防 措施	161	13.3.1 故障查询法	238
12.1.4 安全电压和电流	163	13.3.2 通电检查法	238
12.1.5 触电急救	164	13.3.3 断电检查法	240
12.1.6 电气安全技术知识	167	13.3.4 电压检查法	241
12.1.7 电气工程训练安全操作技术 规程	170	13.3.5 电阻检查法	241
12.2 常用电工工具和仪表	170	13.3.6 短接检查法	242
12.2.1 常用电工工具	170	复习思考题	243
12.2.2 常用导线的连接及焊接工艺	177	第14章 综合创新训练	244
12.2.3 常用电工仪表	185	14.1 创新的概念及特性	244
12.3 常用低压电器	191	14.1.1 创新及其相关概念	244
12.3.1 电器的分类	191	14.1.2 创新的特性	245
12.3.2 低压电器结构的基本组成和 主要性能参数	191	14.1.3 创新的思维方式	246
12.3.3 常用低压电器	192	14.2 工程综合创新训练	246
复习思考题	219	14.2.1 实践是创新实现的基本途径	246
第13章 三相异步电动机控制 电路	220	14.2.2 创新能力的培养和训练	247
13.1 三相异步电动机的结构和接线	220	14.3 综合创新训练的技法	247
		14.3.1 设问法	248
		14.3.2 创新的其他技法	249
		参考文献	250

第1章 工程训练概述

工程训练是一门实践性很强的专业基础课,它通过讲授机械工程及电气工程的基础知识和技能,实现“学习机械和电工基本知识,锻炼实践能力,提高综合素质,培养创新精神”的教学目的。它是工科院校实践教学不可缺少的重要环节之一。

1.1 工程训练的内容

1.1.1 产品生产过程

人类设计制造的产品种类繁多,大到航天飞机、航空母舰,小到手表、手机等,都有其特定功能。例如电梯可以载人载物,空调调节空气温度等,机床作为切削工具,用于改变零件的形状、尺寸,加工出符合工程图样要求的零件,并最终组装成产品。

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。因此无论我们将来从事何种专业,学习机械制造过程和电气基本知识对我们的未来发展都会起到重要作用。

产品的种类虽然繁多,但其功能各不相同,对产品的要求也不同,但基本要求是相同的,目的都是为市场提供高质量、高性能、高效率、低成本、低能耗的机电产品,以获得最大的经济效益和社会效益。对机电产品的基本要求有:

- (1) 功能要求 具有产品的特定功能,如运输、保温、计时、通信等。
- (2) 性能要求 具有产品所要求的技术性能,如速度可调范围宽窄、起停时间长短、低噪声、低磨损等。
- (3) 结构工艺性要求 产品结构简单,便于制造、装配和维护等。
- (4) 可靠性要求 产品故障率低,有安全防护措施等。
- (5) 绿色性要求 产品节能、环保、无公害,包括废水、废气、废渣和废弃产品的回收处理等。
- (6) 成本要求 产品成本包括制造和使用成本,降低成本提升产品的竞争力。

产品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电产品,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。

1. 产品制造的宏观过程

工程训练涉及一般机电产品制造的全过程。首先是设计图样,再根据图样制订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。

2. 产品制造的具体过程

产品制造的具体过程如图 1-1 所示。原材料包括铸铁、钢锭、各种金属型材及非金属材料

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、热处理、表面处理等制成零件，最后将零件和电子元器件装配成合格的机电产品。

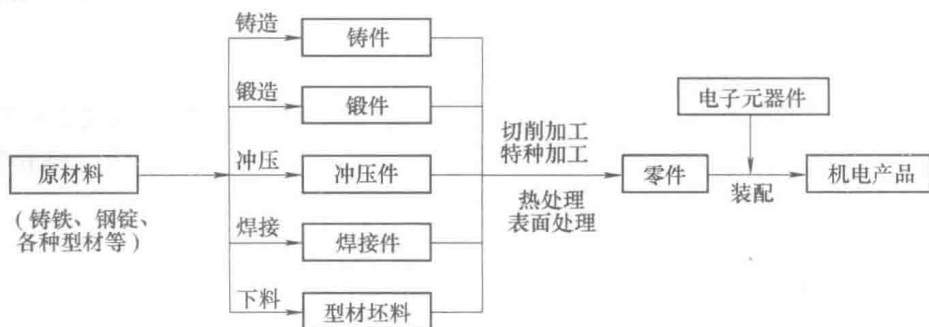


图 1-1 产品制造的具体过程

1.1.2 工程训练的内容

工程训练包括机械工程训练项目，有热处理铸造、锻压、焊接、车削、铣削、钳工、特种加工和数控加工等；电气工程训练项目有电工技能、电气控制等，可以根据需要选择学习。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、刀具的结构、工作原理和使用方法。
- 4) 安全用电。
- 5) 电工工具和仪表。
- 6) 常用低压电器。
- 7) 三相异步电动机控制电路。

1.1.3 工程训练的教学环节

工程训练按项目进行，教学环节有实际操作、现场示范和训练讲课等。

- 1) 实际操作是训练的主要环节，通过实际操作获得各种项目训练方法的感性知识，初步学会使用有关的设备和工具。
- 2) 现场示范在实际操作的基础上进行，以增强兴趣及掌握操作要领。
- 3) 训练讲课包括概论课、理论课和专题讲座。

1.2 工程训练的目的

1.2.1 掌握基础理论知识

大学生除了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基本知识、电气工程基本知识。与一般的理论课程不同，在工程训练中主要是通过自己的亲身实践来获取机械制造基本工艺知识和电气工程基础知识。这些工艺知识都是非常具体、

生动而实际的,对于学习后续课程、进行毕业设计乃至以后的工作,都是必要的。

1.2.2 增强实践能力

这里所说的实践能力,包括动手能力,向实践学习、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程技术问题的能力。这些能力对于非机械类专业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。

在工程训练中,要亲自动手操作各种机电设备,使用各种工具、夹具、量具、刀具、仪表和电器元件,尽可能结合实际生产进行各项目的操作培训。

1.2.3 提高综合素质

作为一名工程技术人员,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。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。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,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、自行制作的综合性创新训练环节,以培养创新能力。

1.3 工程训练的要求

1.3.1 工程训练的教学特点

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

1) 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、工艺、安装调试及施工等知识。

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，而且有工程技术人员和现场教学指导人员且以其为主导。

1.3.2 工程训练的学习方法

工程训练具有实践性的教学特点，学习方法也应作相应的调整 and 改变。

1) 要善于向实践学习，注重在生产过程中学习基本的机械制造工艺及电气知识和技能。

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技术规程，重视人身和设备的安全。

4) 建议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→不断总结→勇于创新→提高素质能力。

1.3.3 工程训练安全知识

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。在整个工程训练中，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，不要麻痹大意。

第2章 工程材料及金属热处理

【目的与要求】

1. 了解常用钢铁材料的牌号、性能特点及选用知识。
2. 了解金属材料的一些主要内容，了解热处理工艺的一些基本内容。
3. 了解表面处理的方法。
4. 初步了解塑料、橡胶、陶瓷材料的性能及用途。
5. 初步了解复合材料的性能特点及发展趋势。
6. 了解热处理生产环境保护知识及安全操作规程。

工程材料是指制造工程构件和机械零件用的材料。工程材料分为金属材料、有机高分子材料、无机非金属材料（陶瓷）和复合材料四类。

2.1 金属材料的性能

金属材料的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。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，其中使用性能是指物理、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，是指金属材料对自然界各种物理现象，如温度变化、地球引力等的反映。

2. 化学性能

化学性能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，在试验机上测出的，如图 2-1 所示。

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, 低碳钢的拉伸曲线如图 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:

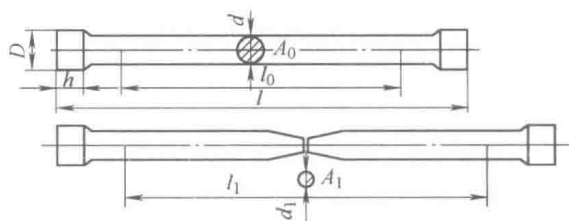


图 2-1 标准拉伸试样图

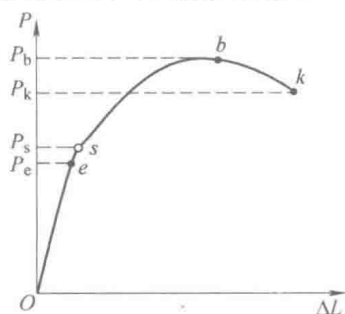


图 2-2 低碳钢的拉伸曲线

(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 $\sigma_e^\ominus$ 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 σ_s 表示, 单位用 MPa 表示。其计算公式为

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

式中 σ_s ——屈服强度 (MPa);

P_s ——试样产生屈服时的最小载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

(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断裂应力称为抗拉强度, 用 σ_b 表示。其计算公式为

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

式中 σ_b ——抗拉强度 (MPa);

P_b ——试样断裂前所承受的最大载荷 (N);

A_0 ——试样原始横截面积 (mm^2)。

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

(4) 缩颈阶段——*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“缩颈”。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

⊖ 新标准为 GB/T 10623—2008《金属材料 力学性能试验术语》，因新标准尚未在所有金属材料的力学性能标准中完成更新，故仍采用旧标准。——编者注

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 δ 和断面收缩率 Ψ 。

3. 硬度

金属材料抵抗其他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 (HBW) 把规定直径的硬质合金球以一定的试验力压入被测材料表面，保持规定时间后测量压痕直径，经计算得出布氏硬度值，适合打硬度值在 650HBW 以下的材料。

(2) 洛氏硬度 (HRA/HRB/HRC) 由于被测材料越硬，压入深度增量越小，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 减去压入深度来表示硬度值。为简便起见又规定每 0.002mm 压入深度为一个硬度单位。

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。

(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。一般用于测量渗氮硬度。

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。

2.2 常用金属材料

金属材料一般分为四大类：

- 1) 工业纯铁 ($w(C) \leq 0.0218\%$)，一般不用来制造机械零件。
- 2) 钢 ($0.0218\% < w(C) \leq 2.11\%$)。
- 3) 铸铁 ($2.11\% < w(C) \leq 6.69\%$)。
- 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 ($w(C) \leq 0.25\%$)、中碳钢 ($0.25\% < w(C) \leq 0.6\%$) 高碳钢 ($w(C) > 0.6\%$)。

2) 合金钢。按合金元素的含量不同可分为低合金钢 (合金元素质量分数 $< 5\%$)、中合金钢 (合金元素质量分数为 $5\% \sim 10\%$)、高合金钢 (合金元素质量分数 $> 10\%$)。

(2) 按硫磷含量分类

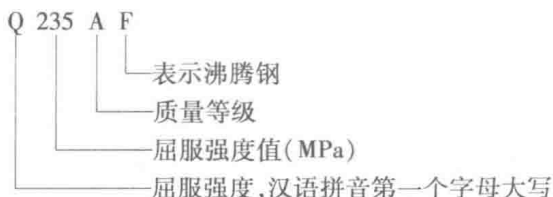
- 1) 普通钢 ($w(S) \leq 0.05\%$, $w(P) \leq 0.45\%$)。
- 2) 优质钢 ($w(S) \leq 0.035\%$, $w(P) \leq 0.035\%$)。
- 3) 高级优质钢 ($w(S) \leq 0.02\%$, $w(P) \leq 0.03\%$)。

(3) 按使用特性分类

- 1) 结构钢。
- 2) 工具钢。
- 3) 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 牌号示意如下:



(2) 优质碳素结构钢 优质碳素结构钢的牌号是用两位平均万分数表示碳的质量分数, 如 08F、45、65Mn 等。

(3) 碳素工具钢 常用的碳素工具钢牌号中“T”代表工具钢, 用名义千分数表示碳的质量分数, 如 T8、T10、T12A 等。

(4) 铸造碳钢 在一些工程机构上, 个别零件由于形状复杂而难以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。牌号中“ZG”是“铸钢”的汉语拼音的首字母, 后边两组数字中第一组表示屈服强度, 第二组表示抗拉强度, 如 ZG200—400。

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、不锈钢和耐热钢。

(1) 合金结构钢 含碳量为万分比, 合金元素含量为百分比, 合金元素质量分数小于 1.5% 时只标符号而不标含量, 如 42CrMo 中碳的质量分数为 0.42%, 铬、钼的质量分数均小于 1.5%。

(2) 合金工具钢 碳的质量分数小于 1% 时的千分比, 碳的质量分数大于或等于 1% 时不标出。如 9CrSi 表示碳的质量分数为 0.9%。

(3) 不锈钢和耐热钢 碳的质量分数小于千分之一时则用“0”表示, 如 06Cr13Al; 碳的质量分数不大于 0.03% 时则用“00”表示, 如 022Cr17Ni4Mo2。

2.2.2 铸铁的分类及应用

铸铁是碳的质量分数大于 2.11% 的铁碳合金, 一般含有硅、锰元素及磷、硫等杂质。铸铁在工业生产上应用比较广泛。与碳素钢比较, 铸铁的力学性能相对较差, 但其具有优良的减震性、耐磨性、切削加工性和铸造性能, 生产成本也比较低。

1. 根据碳在铸铁中存在的形式分类

- 1) 白口铸铁。

- 2) 灰铸铁。
- 3) 麻口铸铁。

2. 根据石墨在铸铁中的形状分类

- 1) 普通灰铸铁。
- 2) 球墨铸铁。
- 3) 可锻铸铁。

2.2.3 有色金属

1. 铜及其合金

(1) 纯铜 纯铜的密度为 8.93g/cm^3 ，熔点为 1083°C 。退火状态下的力学性能： $\sigma_b = 240\text{MPa}$ ， $\text{HBW} = 35$ ， $\delta = 45\%$ 。由于它具有高的电导率、高的耐蚀性和良好的加工性，所以被广泛地应用于电气工业的电缆、电线、线圈、触点等。还可用于冷却器、热交换器、容器等。

(2) 黄铜 黄铜是以锌为主加元素构成的铜基合金。用“H”表示，如H68，表示黄铜中铜的质量分数为68%，锌的质量分数为32%。

(3) 青铜 青铜是以锡、铝、硅、铍等为主加元素构成的铜基合金。其牌号分别由“QSn”“QAl”“QSi”“QBe”和两组或三组数字组成。

2. 铝及其合金

(1) 纯铝 纯铝为银白色，密度为 2.72g/cm^3 ，熔点为 660.4°C 。力学性能： $\sigma_b = 90\text{MPa}$ ， $\text{HBW} = 28$ ， $\delta = 38\%$ ，面心立方结构，无同素异构转变。导电性好、导热性好、耐腐蚀性能好、塑性好、强度低。

(2) 铝合金 铝合金分为变形铝合金和铸造铝合金两类。

1) 变形铝合金。变形铝合金分为防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金和锻铝合金。防锈铝合金强度比纯铝高，具有良好的耐蚀性、塑性和焊接性。切削性能较差，不能进行热处理强化处理，只能进行冷塑变形强化。

2) 铸造铝合金。铸造铝合金用“ZL”加三位数字表示，如ZL107。分为铝硅、铝铜、铝镁及铝锌四大系列，其铸造性能好，导热性及耐蚀性较好，又具有一定的强度。

2.3 热处理概述

机械零件在机械加工中要经过冷、热加工等多道工序，其间经常要穿插热处理工序。所谓热处理就是将固态金属材料通过加热、保温和冷却，改变其组织，从而获得所需要的组织结构和性能的一种工艺方法。热处理是一种重要的加工工艺，在机械制造业中被广泛地应用。如在机床、汽车、拖拉机等机器的制造中约有 $2/3$ 的零部件需要热处理。人们习惯上称热处理工是钢铁的内科医生。

2.3.1 常用的热处理方法

1. 退火和正火

退火是将工件加热到某一合适温度，保温一定时间，然后缓慢冷却（通常是随炉冷却，