

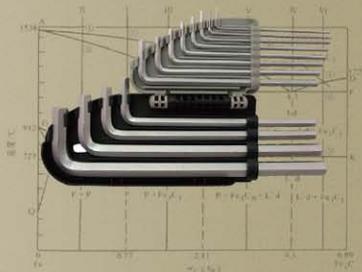
全国高职高专机电专业系列规划教材

# 工程材料与热处理

主 编 蒋清亮

副主编 范允昕

GONGCHENG CAILIAO  
YU RECHULI



北京邮电大学出版社  
www.buptpress.com

全国高职高专机电专业系列规划教材

# 工程材料与热处理

主 编 蒋清亮  
副主编 范允昕



北京邮电大学出版社  
[www. buptpress. com](http://www.buptpress.com)

## 内 容 简 介

本书为职业技术类院校机械制造类专业的技术基础课教材。全书共分十章,主要内容包括金属的力学性能,金属学基础知识,热处理原理和工艺,金属材料,高分子、陶瓷材料及复合材料五部分。每章后附有可供选作的习题与思考题。书后备有四个附录,可供读者查阅。

本书为一般高职高专的机械制造、模具制造技术等机械类专业教材,也可供工学结合特色比较突出的高等职业技术学院材料成型与控制、焊接等热加工专业使用,还可供中等职业学校及各类工程技术人员选用。

### 图书在版编目(CIP)数据

工程材料与热处理/蒋清亮主编.--北京:北京邮电大学出版社,2011.8

ISBN 978-7-5635-2686-4

I. ①工… II. ①蒋… III. ①工程材料—职业技术教育—教材②热处理—职业技术教育—教材  
IV. ①TB3②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 146044 号

---

书 名: 工程材料与热处理

作 者: 蒋清亮

责任编辑: 张 灏

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号(邮编:100876)

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

开 本: 185 mm×260 mm 1/16

印 张: 19

字 数: 470 千字

印 数: 1—3 000 册

版 次: 2011 年 8 月第 1 版 2011 年 8 月第 1 次印刷

---

ISBN 978-7-5635-2686-4

定价: 36.00 元

· 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社营销中心联系 ·

# 前 言

《工程材料与热处理》是职业技术类院校制造类专业的技术基础课教材。主要对象为一般高职高专的机械制造、模具制造技术等专业的学生。也可供工学结合特色比较突出的高等职业技术学院材料成型与控制、焊接等热加工专业选用。

本教材内容包括金属的力学性能,金属学基础知识,热处理原理和工艺,金属材料,高分子、陶瓷材料及复合材料五部分。第一章为金属的力学性能,主要介绍金属常用力学性能的测定方法以及常用的力学性能指标。金属学基础知识部分包括第二章金属的晶体结构与结晶,第三章固态合金的结构、二元合金相图与合金的结晶,第四章铁碳合金相图及铁碳合金的分类、成分、组织及性能,第五章金属的塑性变形及再结晶。第六章是钢的热处理原理和热处理工艺部分,重点阐述了钢在不同工艺条件下组织转变规律以及生产中常用的热处理工艺方法,并对常用机械零件热处理工艺的选择、热处理在机械零件制造过程中的工序位置安排以及热处理零件的结构工艺性等也作了必要介绍。金属材料部分包括第七章工业用钢、第八章铸铁、第九章有色金属及粉末冶金材料。这部分的特点是在材料介绍中注意金属学和热处理原理等方面的基本知识的运用,并能比较紧密地联系生产实际,对材料的成分特点、组织性能特点、使用特点进行归纳总结,目的是使学生能够在有限的课时内,比较容易地熟悉和掌握各类不同材料的特性和常见机械零件的用材情况。能够对金属材料选用和使用中的一般问题进行必要的分析。第十章高分子、陶瓷材料及复合材料,对高分子、陶瓷材料及复合材料作了一定篇幅的介绍。

本教材在内容的安排上,主要考虑到职业技术类教育的特点以及学生的知识结构,同时结合我国近年制造业的发展及产业结构调整的方向,对传统机械工程材料课程的内容进行必要的调整和补充,如考虑到我国汽车工业和航空航天工业的快速发展,在第七章工业用钢中对工程结构用钢、模具用钢等部分进行必要的补充和加强,并在本章内容中增加了低碳马氏体结构钢、低合金超高强度钢、热强钢等相关内容;在第九章中增加了钛合金、镁合金部分,希望对学生将来从事相关工作能有所帮助。本教材力图贯彻简明、易懂,实用及方便自学的原则,叙述上力求由浅入深,深广适中,便于教学。为了使学生会学对所学知识进

行归纳总结,训练学生分析问题和解决问题的能力,各章均安排了一定数量的习题和思考题。书末备有四个附录并提供了进一步学习的参考文献。

本书第一、二、三、四、五、六、八、九、十章及附录由蒋清亮、范允昕共同编写,第七章由陕西航空职业技术学院赵华和蒋清亮共同编写,西安理工大学高等技术学院袁颖对全书的图表进行了校对,并对本书的修改提出了宝贵的意见。全书由蒋清亮任主编,范允昕任副主编。本书在编写过程中得到了西安理工大学高等技术学院机电系、机械基础教研室及工程材料实验室等部门的大力协助,西安理工大学高等技术学院工程材料实验室为本书提供了部分金相照片,在此一并表示感谢。作者在本书的编写过程中参考和引用了一些单位及作者的资料和图片,谨致衷心的感谢。

因编者的水平有限,教材的不足和疏漏在所难免,恳请读者批评和指正。

编者

2011年8月

# 目 录

---

第一章 金属的力学性能 .....	1
第一节 强度与塑性 .....	1
一、拉伸试验与拉伸试样 .....	1
二、拉伸曲线与金属的变形过程 .....	2
三、强度 .....	3
四、塑性 .....	5
第二节 硬度 .....	6
一、布氏硬度 .....	6
二、洛氏硬度 .....	8
三、维氏硬度及显微硬度 .....	9
第三节 冲击韧性 .....	10
一、冲击韧性试验 .....	10
二、冲击试验的应用 .....	12
第四节 金属的疲劳 .....	13
一、金属的疲劳现象 .....	13
二、疲劳曲线与疲劳极限 .....	15
三、提高疲劳极限的途径 .....	15
习题与思考题 .....	16
第二章 金属的结构与结晶 .....	17
第一节 金属的特性 .....	17
第二节 金属的晶体结构 .....	18
一、晶体的基本知识 .....	18
二、金属中常见的三种晶格 .....	19
三、晶格结构的致密度 .....	21
第三节 金属的实际晶体结构 .....	22

一、多晶体结构 .....	22
二、晶体缺陷 .....	23
第四节 纯金属的结晶 .....	26
一、纯金属结晶时的过冷现象 .....	27
二、纯金属结晶的过程 .....	28
三、晶粒的大小及其控制 .....	30
习题与思考题 .....	32
<b>第三章 合金的结构与相图 .....</b>	<b>33</b>
第一节 固态合金的结构 .....	33
一、固溶体 .....	34
二、金属化合物 .....	35
第二节 二元合金相图 .....	38
一、二元合金相图的建立 .....	38
二、二元匀晶相图 .....	39
三、二元共晶相图 .....	42
四、其他类型的二元合金相图 .....	47
第三节 合金性能与相图的关系 .....	48
一、合金的使用性能与相图的关系 .....	48
二、合金工艺性能与相图的关系 .....	48
习题与思考题 .....	49
<b>第四章 铁碳合金相图 .....</b>	<b>50</b>
第一节 纯铁、铁碳合金的基本相 .....	50
一、纯铁及其同素异构转变 .....	50
二、铁碳合金的基本相 .....	51
第二节 铁碳合金相图分析 .....	52
一、Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图中的特性点、特性线及相区 .....	53
二、铁碳合金的分类 .....	55
第三节 铁碳合金的结晶过程及其室温组织 .....	55
一、共析钢 .....	55
二、亚共析钢 .....	56
三、过共析钢 .....	57
四、共晶白口铸铁 .....	58
五、亚共晶白口铸铁 .....	59
六、过共晶白口铸铁 .....	59
第四节 铁碳合金成分、组织与性能之间的关系 .....	60
一、碳含量与平衡组织之间的关系 .....	60

二、碳含量与力学性能之间的关系 .....	61
第五节 铁碳相图的应用 .....	62
一、在铸造生产方面的应用 .....	62
二、在锻造生产方面的应用 .....	63
三、在焊接、热处理生产中的应用 .....	63
习题与思考题 .....	64
<b>第五章 金属的塑性变形与再结晶 .....</b>	<b>65</b>
第一节 金属的塑性变形 .....	65
一、单晶体的塑性变形 .....	65
二、多晶体的塑性变形 .....	70
第二节 冷塑性变形对金属组织结构和性能的影响 .....	71
一、金属的加工硬化现象 .....	71
二、冷塑性变形对金属组织结构的影响 .....	72
第三节 回复与再结晶 .....	75
一、回复 .....	76
二、再结晶 .....	76
三、晶粒长大及其影响因素 .....	77
四、冷变形金属的退火 .....	79
第四节 金属的热变形加工 .....	80
一、热变形加工与冷变形加工的区别 .....	80
二、热变形加工时金属组织和性能的变化 .....	81
习题与思考题 .....	82
<b>第六章 钢的热处理 .....</b>	<b>84</b>
第一节 钢在加热时的组织转变 .....	85
一、奥氏体的形成 .....	85
二、奥氏体晶粒长大及其影响因素 .....	87
第二节 钢在冷却时的组织转变 .....	88
一、过冷奥氏体的等温转变 .....	89
二、马氏体转变 .....	94
三、过冷奥氏体的连续冷却转变 .....	98
第三节 钢的退火与正火 .....	100
一、退火工艺及其应用 .....	101
二、正火工艺及其应用 .....	103
三、退火和正火的选用 .....	105
第四节 钢的淬火 .....	106
一、钢的淬火工艺 .....	106

二、常用的淬火方法 .....	109
三、钢的淬透性 .....	111
四、常见的淬火缺陷 .....	114
第五节 钢的回火 .....	115
一、淬火钢回火时的组织转变 .....	116
二、钢回火后的组织和性能 .....	117
三、回火的分类及应用 .....	119
四、钢的回火脆性 .....	119
第六节 钢的表面淬火 .....	120
一、感应加热表面淬火 .....	120
二、火焰加热表面淬火 .....	122
第七节 钢的化学热处理 .....	123
一、钢的渗碳 .....	123
二、钢的渗氮(氮化) .....	126
三、钢的碳氮共渗 .....	128
四、钢的渗硼 .....	129
第八节 表面气相沉积 .....	130
一、化学气相沉积 .....	130
二、物理气相沉积 .....	131
第九节 机械制造中常见的热处理问题 .....	132
一、热处理零件的结构工艺性 .....	133
二、热处理技术条件标注 .....	134
三、热处理工序位置安排 .....	135
习题与思考题 .....	136
<b>第七章 工业用钢 .....</b>	<b>138</b>
第一节 钢的分类与牌号 .....	138
一、钢的分类 .....	138
二、工业用钢的牌号表示方法 .....	140
第二节 钢中的常存元素及杂质对其性能的影响 .....	142
一、锰的影响 .....	142
二、硅的影响 .....	143
三、硫的影响 .....	143
四、磷的影响 .....	143
五、钢中的非金属夹杂物 .....	143
第三节 合金元素在钢中的作用 .....	144
一、合金元素在钢中的存在形式 .....	144
二、合金元素对 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图的影响 .....	145

三、合金元素对钢热处理的影响 .....	146
第四节 工程结构用钢 .....	150
一、碳素工程结构用钢 .....	151
二、低合金高强度钢 .....	152
第五节 机械制造结构钢 .....	156
一、渗碳钢 .....	158
二、调质钢 .....	162
三、弹簧钢 .....	167
四、滚动轴承钢 .....	171
五、其他机械制造结构钢 .....	172
第六节 工具钢 .....	176
一、刀具钢 .....	176
二、模具钢 .....	184
三、量具钢 .....	190
第七节 特殊性能钢 .....	190
一、不锈钢 .....	190
二、耐热钢 .....	195
三、高锰耐磨钢 .....	198
习题与思考题 .....	199
<b>第八章 铸铁 .....</b>	<b>201</b>
第一节 铸铁的石墨化 .....	202
一、铁碳合金双重相图 .....	202
二、铸铁中的石墨化过程 .....	203
三、影响铸铁石墨化的因素 .....	204
四、石墨形态的控制 .....	205
第二节 灰铸铁 .....	205
一、灰铸铁的化学成分、组织和性能 .....	205
二、灰铸铁的孕育处理及孕育铸铁 .....	207
三、灰铸铁的牌号及用途 .....	207
四、灰铸铁的热处理 .....	208
第三节 球墨铸铁 .....	209
一、球墨铸铁的化学成分、组织和性能 .....	209
二、球墨铸铁的牌号及用途 .....	210
三、球墨铸铁的热处理 .....	211
第四节 可锻铸铁 .....	212
一、可锻铸铁的化学成分和组织 .....	213
二、可锻铸铁的牌号及用途 .....	214

第五节 蠕墨铸铁 .....	215
一、蠕墨铸铁的生产及化学成分 .....	215
二、蠕墨铸铁的组织、性能及用途 .....	216
第六节 合金铸铁简介 .....	216
一、耐磨铸铁 .....	216
二、耐热铸铁 .....	218
三、耐蚀铸铁 .....	219
习题与思考题 .....	219
<b>第九章 有色金属及粉末冶金材料 .....</b>	<b>221</b>
第一节 铝及铝合金 .....	221
一、铝及铝合金的特点与分类编号 .....	221
二、铝合金的时效 .....	224
三、变形铝合金 .....	225
四、铸造铝合金 .....	227
第二节 铜及铜合金 .....	229
一、工业纯铜 .....	229
二、铜合金的分类及牌号表示方法 .....	229
三、黄铜 .....	230
四、青铜 .....	232
第三节 钛及钛合金 .....	235
一、工业纯钛 .....	236
二、钛的合金化及其分类 .....	236
三、工业用钛合金 .....	238
四、钛合金的热处理 .....	239
第四节 镁及其合金 .....	240
一、镁及镁合金的特点 .....	240
二、镁合金的合金化及其分类 .....	241
三、工业用镁合金 .....	242
第五节 滑动轴承合金 .....	243
一、滑动轴承的工作条件及对合金的要求 .....	243
二、锡基轴承合金(锡基巴氏合金) .....	244
三、铅基轴承合金(铅基巴氏合金) .....	245
四、铝基轴承合金 .....	246
五、铜基轴承合金 .....	247
第六节 粉末冶金及硬质合金 .....	247
一、粉末冶金工艺简介 .....	248
二、粉末冶金结构材料 .....	249

---

三、硬质合金 .....	250
习题与思考题 .....	253
<b>第十章 高分子、陶瓷及复合材料 .....</b>	<b>255</b>
第一节 高分子材料 .....	255
一、高分子材料概述 .....	255
二、工程塑料 .....	260
三、橡胶 .....	264
第二节 陶瓷材料 .....	267
一、陶瓷材料概述 .....	267
二、陶瓷材料的结构及性能特点 .....	267
三、常用的特种陶瓷材料 .....	269
第三节 复合材料 .....	271
一、复合材料概述 .....	271
二、复合材料的性能特点 .....	271
三、常用复合材料 .....	272
习题与思考题 .....	275
<b>附录 A 布氏硬度换算表 .....</b>	<b>276</b>
<b>附录 B 钢的硬度及抗拉强度换算表 .....</b>	<b>282</b>
<b>附录 C 常用钢种的临界温度 .....</b>	<b>285</b>
<b>附录 D 热处理工艺分类及代号(GB/T 12693—90) .....</b>	<b>288</b>
<b>参考文献 .....</b>	<b>290</b>

# 第一章 金属的力学性能

---

金属材料的力学性能是金属在承受各种外加载荷时所表现的行为。它关系到工件在使用过程中传递力的能力和使用寿命,也关系到金属材料加工的难易程度。当金属受外力作用时,一般会出现变形和断裂,因此金属的力学性能可以理解为金属材料承受外加载荷时,对变形与断裂的抵抗能力。

大多数机器零件或构件都是由金属材料制造的,在不同的载荷(如拉伸、压缩、弯曲、扭转、冲击、交变应力等)与环境条件下(温度、介质)工作。如果金属材料的力学性能与工作条件不相适应,就会使机件失去预定的效能而损坏,即产生所谓的“失效”现象。零件或构件常见的失效形式有断裂、磨损、过量弹性变形和过量塑性变形等。在工程和机械设计中,要根据零件的工作条件提出其性能要求,然后再根据零件的性能要求选择合适的材料,以确保零件安全工作并使之具有足够长的寿命。显然,金属力学性能的基本知识及各种力学性能指标,不仅是零件设计、材料选用时的重要依据;而且也是按照技术标准验收和鉴定原材料以及在生产过程中对产品工艺进行质量控制的重要参数。

因不同零件在工作时承受的载荷不同、环境温度与介质等外在因素也可能不同,而金属材料在不同载荷条件下所表现出的力学行为也不相同,故在研究中通过设计不同的试验来测定材料在各种载荷作用下不同的力学性能指标。常用的力学性能有强度、塑性、刚度、弹性、硬度、冲击韧性和疲劳极限等。

## 第一节 强度与塑性

静拉伸试验是工业上最广泛使用的力学性能试验方法之一。试验时在试样两端缓慢地施加载荷,使试样的工作部分受轴向拉力沿轴向伸长,一般进行到拉断为止。在拉伸过程中,通过测定试样对外加载荷的抗力和试样在断裂后所产生变形量的大小,可确定材料的强度指标和塑性指标。

### 一、拉伸试验与拉伸试样

拉伸试验一般采用标准圆形试样在拉伸试验机上进行。为了确保金属试样在试验过程

中处于单向拉伸状态,对试样的形状、尺寸和加工,均有一定要求。国家标准 GB228—1987 中对拉伸试样的形状、尺寸和加工均有明确规定。图 1-1 所示为常用标准拉伸试样,试样分为工作部分、过渡部分和夹持部分。试样的直径为  $d_0$ ,标距长度为  $l_0$ 。标距范围为工作部分,要求表面光滑,以保证材料表面也是单向拉伸;过渡部分必须有适当的台肩和圆角,以降低应力集中,保证该处不会变形和断裂。

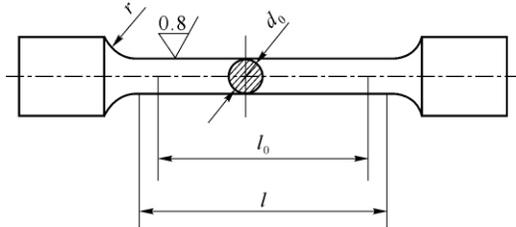


图 1-1 圆形拉伸试样示意图

## 二、拉伸曲线与金属的变形过程

试验时,将试样装夹在拉伸试验机上,缓慢增加拉力,直至拉断。根据试样在拉伸过程中承受的拉力  $F$ ,与试样标距部分所产生的伸长量  $\Delta l$  之间的关系,绘出  $F-\Delta l$  的关系曲线,这种曲线叫做拉伸曲线或拉伸图。

### 拉伸曲线与金属的变形过程

图 1-2 为退火低碳钢的拉伸曲线。低碳钢试样的拉伸过程可分为弹性变形、塑性变形和断裂三个阶段。

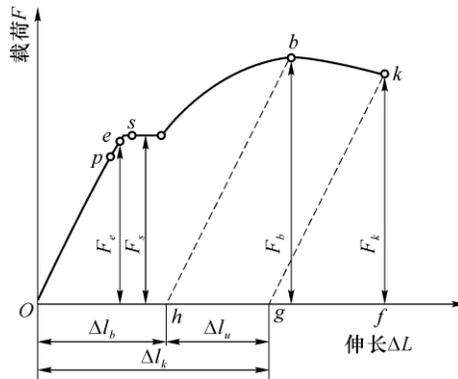


图 1-2 低碳钢的拉伸曲线

当载荷小于  $F_p$  时,试样的伸长量与载荷间保持直线关系。在此阶段,试样受力伸长产生变形,但卸载后变形消失立刻恢复原状,这种变形称为弹性变形。

当载荷超过  $F_p$  后,拉伸曲线开始偏离直线,在  $F_p \sim F_e$  之间,伸长量和载荷已不再呈正比关系,但试样基本仍处于弹性变形阶段。

当载荷大于  $F_e$  后,若将试样卸载,测量其长度,可发现试样此时不能恢复原状,而保留了一部分残留变形。这种卸载后不可恢复的残留变形称为塑性变形。 $F_e$  是试样开始产生微

量塑性变形时的载荷。一般来说,  $F_p$  与  $F_e$  是非常接近的。

当载荷增大至  $F > F_e$  后, 拉伸曲线上出现一段不规则的水平或锯齿状的延伸平台, 表明载荷不增加甚至略有减小的情况下变形仍在继续, 这种现象称为“屈服”。 $F_s$  是试样屈服时所对应的载荷。

屈服后金属开始明显塑性变形。但随着变形量增加, 金属的变形抗力也在逐渐增加, 这种随着塑性变形量的增加金属材料不断被强化的现象称为“形变强化”或“加工硬化”。

当载荷达到最大值  $F_b$  后, 试样的某一部位突然产生大量塑性变形而导致该处截面开始急剧缩小, 即出现所谓的“缩颈”现象。缩颈的产生表明试样由之前的整体均匀变形而演变为局部大量变形。缩颈阶段后载荷出现下降。

载荷达  $k$  点时试样断裂,  $F_k$  称为断裂载荷。

由拉伸曲线可见, 试样断裂时的总伸长量为  $Of$ , 其中  $gf$  是弹性变形,  $Og(\Delta l_k)$  是塑性变形。塑性变形中  $Oh(\Delta l_b)$  是试样产生缩颈前的均匀变形,  $hg(\Delta l_u)$  是缩颈部位的集中变形。

工业上使用的金属材料, 多数是没有屈服现象的, 其拉伸曲线如图 1-3 所示。图 1-3(a) 是塑性材料的拉伸曲线, 如退火状态的铝合金、铜合金等。图 1-3(b) 是低塑性材料的拉伸曲线, 它不仅没有屈服现象, 而且也不产生缩颈, 拉伸时的最大载荷就是断裂载荷。如铸铁等材料。

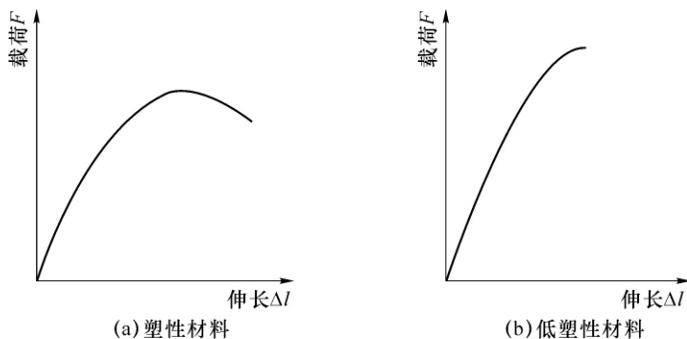


图 1-3 塑性材料及低塑性材料的拉伸图

应当指出, 低碳钢这类塑性材料, 在断裂前出现屈服现象而且会发生明显的塑性变形, 这种断裂称为塑性断裂。某些脆性材料(如铸铁等), 往往在尚未产生明显的塑性变形时就发生断裂, 不仅没有屈服现象, 也不会出现颈缩, 这种断裂称为脆性断裂。

### 三、强度

强度是指金属材料在静载荷作用下, 抵抗塑性变形和断裂的能力。由于载荷的作用方式有拉伸、压缩、弯曲、剪切等不同的形式, 所以强度也分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度和抗剪强度等。工程上常用的静拉伸强度指标有弹性极限、屈服点(屈服强度)和抗拉强度等。

由于拉伸曲线上的载荷  $F$  与伸长量  $\Delta l$  不仅与试样的材料有关, 还与试样的尺寸有关。为了消除试样尺寸因素的影响, 材料的强度通常用应力  $\sigma$  表示, 单位为兆帕(MPa)。静拉伸时的应力值可用试样承受的载荷  $F$  (N) 除以试样的原始横截面积  $A_0$  ( $\text{mm}^2$ ) 求得。同样将试

样断裂时的总伸长量  $\Delta l$  与原始标距长度  $l_0$  的比值称为应变。

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

实用中也可以根据应力与应变的关系绘出应力—应变曲线,简称  $\sigma$ — $\varepsilon$  图。应力—应变曲线的形状与拉伸曲线相似,只是坐标与数值不同。但它排除了试样尺寸因素对试验数据的影响,故可以直接从图中确定材料的某些力学性能数据。

### (一) 弹性极限<sup>①</sup>

弹性极限  $\sigma_e$  是金属由弹性变形过渡到弹—塑性变形时的应力值。应力超过弹性极限以后,金属便开始发生塑性变形。

$$\sigma_e = \frac{F_e}{A_0}$$

式中,  $F_e$ ——试样能够保持弹性变形状态的最大载荷;  $A_0$ ——试样的原始横截面积。

工作中不允许产生微量塑性变形的零件(如精密的弹性元件、炮筒等),设计时应以弹性极限数据来进行强度计算和选材。例如,弹簧是典型的弹性零件,主要起缓冲和贮存能量的作用,如果选用的弹簧材料的弹性极限过低,弹簧工作时就可能产生塑性变形,尽管每次变形量可能很小,但时间长了,弹簧的尺寸将发生明显的变化,导致弹簧失效,因此设法提高弹簧材料的弹性极限是非常必要的。

### (二) 屈服点与屈服强度

#### 1. 屈服点 $\sigma_s$

屈服点  $\sigma_s$  是指拉伸曲线上试样发生屈服时所对应的应力值,表征材料产生明显塑性变形时的最低应力值。

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

式中,  $F_s$ ——试样发生屈服时的载荷;  $A_0$ ——试样的原始横截面积。

#### 2. 屈服强度 $\sigma_{0.2}$

屈服点是具有屈服现象的材料特有的强度指标。事实上除退火或热轧的低碳钢、中碳钢等少数合金有屈服现象外,大多数金属的合金都没有屈服点,如高碳淬火钢、铸铁等材料。因此,国家标准 GB 228—1987 规定,采用试样标距部分产生 0.2% 残余伸长时对应的应力值,作为这些材料的屈服强度,以  $\sigma_{0.2}$  表示。

$$\sigma_{0.2} = \frac{F_{0.2}}{A_0}$$

式中,  $F_{0.2}$ ——试样标距部分发生 0.2% 残余伸长时的载荷;  $A_0$ ——试样的原始横截面积。

事实上,弹性极限和屈服点(屈服强度)都可以表征金属微量塑性变形的抗力,从工程技术和标准中的定义来看,它们之间并无原则差别,只是规定的塑性变形大小不同而已。零件

<sup>①</sup> 国家标准 GB 228—1987 中已取消弹性极限和屈服强度的工程定义,两者统称为规定微量塑性变形伸长应力(规定伸长应力)。考虑到这两种性能指标的物理意义还是存在的,以及它们在工程上仍在应用,本书仍保留。

与结构件不仅是在破裂时才形成失效,更多情况是在发生少量塑性变形后,往往由于其精度降低或与其他零件的相互配合受到影响而失效,因此,工作时一般不允许发生塑性变形。但是要求的严格程度是不一样的,对变形要求特别严格的零件,应根据弹性极限设计,要求不太严格的零件或构件,则以屈服点  $\sigma_s$  和屈服强度  $\sigma_{0.2}$  作为设计和选材的主要依据。屈服点和屈服强度被公认是评定金属材料的重要力学性能指标。

### (三) 抗拉强度 $\sigma_b$

抗拉强度  $\sigma_b$  是指金属材料在断裂前所能承受的最大应力值,即

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

式中,  $F_b$ ——试样断裂前所能承受的最大载荷;  $A_0$ ——试样的原始横截面积。

拉伸过程中,在达到最大载荷  $F_b$  之前试样已发生了明显的塑性变形,因此,塑性材料的  $\sigma_b$  对于设计计算一般没有直接意义。但尽管如此,抗拉强度在技术上还是很重要的。它的物理意义是表征材料对最大均匀变形的抗力,表征材料在拉伸条件下所能承受最大载荷时的应力值。所以它也是设计和零件选材的主要依据之一。对于铸铁等脆性材料,在拉伸过程中一般不出现缩颈现象,拉断前的最大载荷  $F_b$  就是断裂时的载荷  $F_k$ ,因此抗拉强度就是材料的断裂强度。在这种情况下,抗拉强度  $\sigma_b$  表征材料的断裂抗力。

## 四、塑性

塑性是金属材料在静载荷作用下,产生塑性变形而不破坏的能力。评定金属材料塑性的指标是断后伸长率  $\delta$  和断面收缩率  $\psi$ 。

### (一) 断后伸长率 $\delta$

断后伸长率是指试样拉断后标距部分的伸长量  $l_1 - l_0$  与原始标距长度  $l_0$  的比值,即

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

式中,  $l_1$ ——试样拉断后标距部分的长度;  $l_0$ ——试样的原始标距长度。

材料的伸长率与试样的标距长度有关。因国标中拉伸试样有长试样( $l_0/d_0 = 10$ )和短试样( $l_0/d_0 = 5$ )两种规定,所以用长、短两种试样测定的伸长率应分别以  $\delta_{10}$ (或  $\delta$ ) 和  $\delta_5$  表明。材料的伸长率随标距的增加而减小。同一材料的短试样要比长试样测得的伸长率大 20% 左右。

### (二) 断面收缩率 $\psi$

断面收缩率  $\psi$  是指试样拉断处横截面积的减小量  $A_0 - A_1$  与原始横截面积  $A_0$  的比值,即

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

式中,  $A_1$ ——试样拉断后断裂处的最小横截面积;  $A_0$ ——试样的原始横截面积。

塑性是金属材料所特有的一种力学性能。塑性指标虽然不直接用于设计计算,但任何零件都要求材料具有一定的塑性。因零件在使用过程中偶然过载时,塑性好的材料能通过一定的塑性变形而避免突然的脆性断裂。塑性变形还有缓和应力集中、消减应力峰的作用,