



人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐  
有色金属行业职业教育培训规划教材

# 金属学及热处理

JINSHUXUE JI RECHULI

白素琴 编著



冶金工业出版社  
Metallurgical Industry Press

人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐  
有色金属行业职业教育培训规划教材

# 金属学及热处理

白素琴 编著

北京  
冶金工业出版社  
2009

## 内 容 简 介

本书是有色金属行业职业教育培训规划教材之一,是根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的,并经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过。

本书共分8章,详细介绍了金属的性能、金属与合金的晶体结构、纯金属的结晶和铸锭组织、合金相和二元合金相图、金属的塑性变形和再结晶、金属热处理、铝镁及其合金、铜镍及其合金等。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时也可供有关的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

金属学及热处理/白素琴编著. —北京:冶金工业出版社, 2009. 7

有色金属行业职业教育培训规划教材  
ISBN 978-7-5024-4647-5

I. 金… II. 白… III. ①金属学—技术培训—教材  
②热处理—技术培训—教材 IV. TG1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 149736 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010) 64027926 电子信箱 postmaster@cnmip.com.cn

责任编辑 张登科 美术编辑 李 新 版式设计 张 青

责任校对 卿文春 责任印制 李玉山

ISBN 978-7-5024-4647-5

北京兴华印刷厂印刷; 冶金工业出版社发行; 各地新华书店经销

2009 年 7 月第 1 版, 2009 年 7 月第 1 次印刷

787mm × 1092mm 1/16; 13.75 印张; 358 千字; 202 页; 1-3000 册

32.00 元

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100711) 电话:(010)65289081

(本书如有印装质量问题,本社发行部负责退换)

# 有色金属行业职业教育培训规划教材 编辑委员会

- 主任** 丁学全 中国有色金属工业协会党委副书记、中国职工教育和职业培训协会有色金属分会理事长
- 曹胜利 冶金工业出版社社长
- 副主任** 赵东海 洛阳铜加工集团有限责任公司董事长、中铝洛阳铜业有限公司党委书记、副董事长
- 鲁启峰 中国职工教育和职业培训协会冶金分会秘书长
- 谭学余 冶金工业出版社总编辑
- 杨焕文 中国有色金属学会副秘书长
- 纪庆 中铝湖北大冶有限公司副总经理
- 李宏磊 中铝洛阳铜业有限公司副总经理
- 唐福康 洛阳铜加工集团有限责任公司副总经理
- 姚立宁 广东工贸职业技术学院院长
- 秘书长** 杨伟宏 洛阳有色金属工业学校校长(0379-64949030, yangwh0139@126.com)
- 副秘书长** 张登科 冶金工业出版社副编审(010-64062877, zhdengke@sina.com)
- 委员** (按姓氏笔画排序)
- 牛立业 中铝洛阳铜业有限公司
- 王洪 黑龙江佳泰钛业有限公司
- 王辉 株州冶炼集团股份有限公司
- 卢宇飞 昆明冶金高等专科学校
- 李巧云 洛阳有色金属工业学校
- 李贵 河南豫光金铅股份有限公司
- 刘静安 中铝西南铝业(集团)有限责任公司
- 邹广亚 中铝河南铝业有限公司
- 张鸿烈 白银有色金属公司西北铅锌厂
- 但渭林 江西理工大学南昌分院
- 武红林 中铝东北轻合金有限责任公司
- 林群 江西铜业集团公司铜板带有限公司
- 郭天立 中冶葫芦岛有色金属集团公司
- 党建锋 中电投宁夏青铜峡能源铝业集团有限公司
- 顾炳根 桂林理工大学南宁分院
- 董运华 洛阳有色金属加工设计研究院
- 雷霆 云南冶金集团股份有限公司

# 序

---

有色金属是重要的基础原材料，产品种类多，关联度广，是现代高新技术产业发展的关键支撑材料，广泛应用于电力、交通、建筑、机械、电子信息、航空航天和国防军工等领域，在保障国民经济和社会发展等方面发挥着重要作用。

改革开放以来，我国有色金属工业持续快速发展，十种常用有色金属总产量已连续7年居世界第一，产业结构调整和技术进步加快，在国际同行业中的地位明显提高，市场竞争力显著增强。我国有色金属工业的发展已经站在一个新的历史起点上，成为拉动世界有色金属工业增长的主导因素，成为推进世界有色金属科技进步的重要力量，将对世界有色金属工业的发展发挥越来越重要的作用。

当前，我国有色金属工业正处在调整产业结构，转变发展方式，依靠科技进步推动行业发展的关键时期。随着我国城镇化、工业化、信息化进程加快，对有色金属的需求潜力巨大，产业发展具有良好的前景。今后一个时期，我国有色金属工业发展的指导思想是：以邓小平理论和“三个代表”重要思想为指导，深入落实科学发展观，按照保增长、扩内需、调结构的总体要求，以控制总量、淘汰落后、加快技术改造、推进企业重组为重点，推动产业结构调整和优化升级；充分利用境内外两种资源，提高资源保障能力，建设资源节约型、环境友好型和科技创新型产业，促进我国有色金属工业可持续发展。

为了实现我国有色金属工业强国的宏伟目标，关键在人才，需

要培养造就一大批高素质的职工队伍，既要有高级经营管理者、各类工程技术人才，更要有高素质、高技能、创新型的生产一线人才。因此，大力发展职业教育和职工培训是实施技能型人才培养的主要途径，是提高企业整体素质，增强企业核心竞争力的重要举措，是实现有色金属工业科学发展的迫切需要。

冶金工业出版社和洛阳有色金属工业学校为了适应有色金属工业中等职业学校教学和企业生产的实际需求，组织编写了这套培训教材。教材既有系统的理论知识，又有生产现场的实际经验，同时还吸纳了一些国内外的先进生产工艺技术，是一套行业教学和职工培训较为实用的中级教材。

加强中等职业教育和职工培训教材的建设，是增强职业教育和培训工作实效的重要途径。要坚持少而精、管用的原则，精心组织、精心编写，使教材做到理论与实际相结合，体现创新理念、时代特色，在建设高素质、高技能的有色金属工业职工队伍中发挥积极作用。

中国有色金属工业协会会长



2009年6月

# 前 言

---

本书是按照人力资源和社会保障部的规划,参照行业职业技能标准和职业技能鉴定规范,根据有色金属企业生产实际、岗位技能要求以及职业学校教学需要编写的。书稿经人力资源和社会保障部职业培训教材工作委员会办公室组织专家评审通过,由人力资源和社会保障部职业能力建设司推荐作为有色金属行业职业教育培训规划教材。

本书重点介绍了金属学及热处理(有色金属)内容。全书共分8章,包括金属的性能、金属与合金的晶体结构、纯金属的结晶和铸锭组织、合金相和二元合金相图、金属的塑性变形和再结晶、金属热处理、铝镁及其合金、铜镍及其合金等。在内容组织和结构安排上,力求简明扼要,通俗易懂,理论联系实际,切合生产实际需要,突出行业特点。为便于读者自学,加深理解和学用结合,各章均附复习思考题。

本书可作为有色金属企业岗位操作人员的培训教材,也可作为职业学校(院)相关专业的教材,同时也可供有关的工程技术人员参考。

本书由白素琴编写,马可定审稿。本书在编写过程中,得到了杨伟宏、李巧云、姚晓燕、申智华、李战田、汤军等领导 and 同事的大力支持和热忱帮助,并参考了一些相关著作和文献中的有关内容,在此一并表示衷心的感谢。

由于编者水平所限,编写经验不足,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

作 者  
2009年5月

# 目

# 录

<b>1 金属的性能</b> .....	1
1.1 金属的力学性能 .....	1
1.1.1 强度 .....	2
1.1.2 塑性 .....	5
1.1.3 硬度 .....	6
1.1.4 冲击韧性 .....	10
1.1.5 疲劳强度 .....	13
1.2 金属的理化性能 .....	14
1.2.1 金属的物理性能 .....	14
1.2.2 金属的化学性能 .....	16
1.3 金属的工艺性能 .....	17
1.3.1 铸造性能 .....	17
1.3.2 加工性能 .....	17
1.3.3 焊接性能 .....	17
1.3.4 切削加工性能 .....	17
复习思考题 .....	18
<b>2 金属与合金的晶体结构</b> .....	19
2.1 金属键 .....	19
2.1.1 固态金属特性 .....	19
2.1.2 金属的原子结构 .....	19
2.1.3 金属键 .....	19
2.2 金属的晶体结构 .....	20
2.2.1 晶体与非晶体 .....	20
2.2.2 晶体结构的概念 .....	21
2.2.3 金属中常见的晶格 .....	22
2.3 晶体结构的致密度及晶面、晶向表示法 .....	23
2.3.1 晶体中原子排列的密度 .....	23
2.3.2 晶面与晶向及其表示法 .....	25
2.3.3 晶面及晶向的原子密度 .....	27
2.3.4 晶体的各向异性 .....	27
2.4 纯金属的实际结构 .....	27
2.4.1 单晶体 .....	27



2.4.2 多晶体 .....	27
2.5 实际金属晶体结构缺陷 .....	28
2.5.1 点缺陷 .....	28
2.5.2 线缺陷 .....	29
2.5.3 面缺陷 .....	31
复习思考题 .....	31
<b>3 纯金属的结晶和铸锭组织 .....</b>	<b>32</b>
3.1 纯金属的结晶 .....	32
3.1.1 金属结晶的概念 .....	32
3.1.2 纯金属的结晶过程 .....	34
3.1.3 晶粒大小对力学性能的影响 .....	35
3.2 金属的同素异构转变 .....	37
3.2.1 同素异构转变概念 .....	37
3.2.2 同素异构转变与液态金属结晶的比较 .....	38
3.3 铸锭组织及其缺陷 .....	39
3.3.1 铸锭的典型结构 .....	39
3.3.2 铸锭的缺陷 .....	41
复习思考题 .....	44
<b>4 合金相和二元合金相图 .....</b>	<b>45</b>
4.1 合金相组织基本知识 .....	45
4.1.1 基本概念 .....	45
4.1.2 合金相分类 .....	47
4.2 二元合金相图的基本知识 .....	53
4.2.1 二元合金相图的表示方法 .....	54
4.2.2 二元合金相图的测绘 .....	54
4.2.3 铅锡二元合金相图的分析 .....	56
4.3 匀晶相图 .....	56
4.3.1 相图分析 .....	56
4.3.2 固溶体的平衡结晶过程 .....	57
4.3.3 杠杆定律(相的成分和相的相对量求解方法概述) .....	57
4.3.4 匀晶系合金的不平衡结晶 .....	58
4.4 共晶相图 .....	59
4.4.1 相图分析 .....	60
4.4.2 典型合金的平衡结晶过程及组织 .....	60
4.4.3 共晶系合金的不平衡结晶 .....	63
4.5 包晶相图 .....	65
4.5.1 相图分析 .....	65

4.5.2 典型合金的平衡结晶过程及其组织 .....	65
4.5.3 包晶系合金的不平衡结晶 .....	67
4.5.4 包晶转变的应用 .....	68
4.5.5 包晶转变与共晶转变的比较 .....	68
4.6 其他类型的二元合金相图 .....	69
4.6.1 形成化合物的二元相图 .....	69
4.6.2 具有固态转变的二元合金相图 .....	70
4.7 相图的规律和使用 .....	73
4.7.1 相图分析步骤 .....	73
4.7.2 二元合金相图遵循的规律(点、线、面) .....	74
4.7.3 根据相图分析合金热处理的可能性 .....	75
4.7.4 应用相图时要注意的问题 .....	76
4.8 合金性能与相图之间的关系 .....	76
4.8.1 合金的力学性能和物理性能随成分变化的规律 .....	77
4.8.2 合金的铸造性能随成分变化的规律 .....	77
4.8.3 合金的压力加工性能随成分变化的规律 .....	78
4.9 铁碳合金相图 .....	78
4.9.1 纯铁、铁碳合金的组织结构及其性能 .....	79
4.9.2 铁碳合金的组织结构及其性能 .....	79
4.9.3 铁碳合金相图 .....	82
4.9.4 碳钢的分类、编号和用途 .....	85
4.9.5 合金钢 .....	85
4.9.6 铸铁 .....	86
复习思考题 .....	86
<b>5 金属的塑性变形和再结晶 .....</b>	<b>88</b>
5.1 金属的塑性变形 .....	88
5.1.1 单晶体的弹性变形 .....	88
5.1.2 单晶体的塑性变形 .....	89
5.2 多晶体的塑性变形 .....	94
5.2.1 晶界的影响 .....	94
5.2.2 晶粒间位向差别的影响 .....	94
5.2.3 晶粒大小的影响 .....	95
5.3 合金的塑性变形 .....	95
5.3.1 固溶体合金的塑性变形特点 .....	95
5.3.2 多相合金的塑性变形特点 .....	96
5.4 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	97
5.4.1 对性能的影响 .....	97
5.4.2 对组织结构的影响 .....	98

5.4.3 产生内应力 .....	100
5.5 冷变形金属在加热时组织和性能的变化 .....	101
5.5.1 再结晶的三个阶段 .....	101
5.5.2 影响再结晶后晶粒大小的因素 .....	104
5.5.3 金属中的再结晶织构和退火孪晶 .....	105
5.6 金属的热塑性加工 .....	105
5.6.1 金属的热加工与冷加工 .....	105
5.6.2 热加工对组织和性能的影响 .....	107
5.6.3 带状组织 .....	108
复习思考题 .....	108
<b>6 热处理 .....</b>	<b>110</b>
6.1 钢的热处理概述 .....	110
6.1.1 钢在加热时的转变 .....	110
6.1.2 钢的普通热处理分类 .....	112
6.1.3 影响钢热处理工件质量的因素 .....	115
6.2 有色金属合金的热处理 .....	116
6.2.1 热处理的分类和基本原理 .....	116
6.2.2 均匀化退火 .....	117
6.2.3 有色金属的回复和再结晶退火 .....	121
6.2.4 固溶处理(淬火)及时效 .....	128
6.3 形变热处理 .....	139
6.3.1 低温形变热处理 .....	139
6.3.2 高温形变热处理 .....	142
6.4 热处理新工艺简介 .....	143
6.4.1 激光热处理 .....	143
6.4.2 真空热处理 .....	144
6.4.3 化学热处理 .....	144
6.4.4 保护气氛热处理 .....	144
6.4.5 复合热处理 .....	144
6.5 热处理缺陷产生的原因和控制措施(有色金属) .....	144
6.5.1 力学性能不合格 .....	145
6.5.2 表面氧化 .....	145
6.5.3 过烧或晶粒粗大 .....	145
6.5.4 组织、性能不均 .....	145
6.5.5 黄铜脱锌 .....	145
6.5.6 氧化与脱碳 .....	145
6.5.7 淬火裂纹或开裂 .....	146
6.5.8 粘连 .....	146

---

6.5.9 产品表面发黑 .....	146
复习思考题 .....	146
<b>7 铝镁及其合金 .....</b>	<b>147</b>
7.1 纯铝 .....	147
7.1.1 铝的性质 .....	147
7.1.2 铝的分类及牌号 .....	148
7.1.3 铝合金的分类 .....	150
7.2 变形铝合金 .....	152
7.2.1 防锈铝合金 .....	153
7.2.2 硬铝合金 .....	154
7.2.3 超硬铝合金 .....	154
7.2.4 锻铝合金 .....	155
7.2.5 变形铝合金的热处理 .....	155
7.3 铸造铝合金 .....	156
7.3.1 铸造铝合金的成分、性能及用途 .....	156
7.3.2 铸造铝硅合金的变质处理 .....	159
7.3.3 铸造铝合金的热处理 .....	159
7.4 镁及其合金 .....	161
7.4.1 纯镁概述 .....	161
7.4.2 镁合金的合金化 .....	162
复习思考题 .....	165
<b>8 铜、镍及其合金 .....</b>	<b>166</b>
8.1 工业纯铜 .....	166
8.1.1 紫铜的性质 .....	166
8.1.2 合金元素与杂质对纯铜的影响 .....	168
8.1.3 无氧铜 .....	170
8.2 铜合金 .....	170
8.2.1 黄铜 .....	171
8.2.2 青铜 .....	179
8.2.3 白铜 .....	189
8.3 滑动轴承合金 .....	193
8.3.1 锡基轴承合金(锡基巴氏合金) .....	194
8.3.2 铅基轴承合金(铅基巴氏合金) .....	195
8.3.3 铅基轴承合金——铅青铜 .....	196
8.3.4 铝基轴承合金(铝基巴氏合金) .....	197
8.4 镍及其合金 .....	198
8.4.1 纯镍 .....	198

---

8.4.2 镍合金 .....	198
复习思考题 .....	200
附录 元素周期表中部分元素的晶体结构、原子直径及核外电子分布 .....	201
参考文献 .....	202

# 1 金属的性能

金属材料是现代机械制造业的基础材料,广泛应用于制造生产和生活用品。金属材料之所以获得广泛的应用,是由于它具有许多良好的性能。

为了正确地选择和合理使用金属材料,必须从金属的使用性能、工艺性能、经济效益等方面来考虑。对于一般的机器零件,主要是根据使用性能选材。金属材料的性能包含使用性能和加工工艺性能两方面。

使用性能是指金属材料在使用条件下所表现出来的性能,它包括物理性能(如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性等)、化学性能(如耐腐蚀性、抗氧化性等)、力学性能(如强度、塑性、硬度、冲击韧性及疲劳强度等)等。工艺性能是指金属在制造加工过程中反映出来的各种性能,包括铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削性能和热处理性能等。

## 1.1 金属的力学性能

力学性能是指金属在外力作用下所表现出来的性能。力学性能包括强度、塑性、硬度、冲击韧性及疲劳强度等。

在机械设备及工具的设计、制造中选用金属材料时,大多以其力学性能为主要依据,因此熟悉和掌握金属材料的力学性能是非常重要的。金属的力学性能是以实验为根据的,对任何力学性能的研究和评定,都是对一定形状的试样,在一定的外力作用下,进行实验室的测试工作,以摸索基本规律。

金属材料在加工及使用过程中所受的外力称为载荷。根据载荷作用性质的不同,载荷可分为三种:

- (1) 静载荷。指大小不变或变化过程缓慢的载荷,如从零开始缓慢增加的载荷。
- (2) 交变载荷。指大小或方向或大小和方向都随时间发生周期性变化的载荷。
- (3) 冲击载荷。指短时间内以较高速度作用于零件上的载荷。

根据作用形式不同,载荷又可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等,如图 1-1 所示。

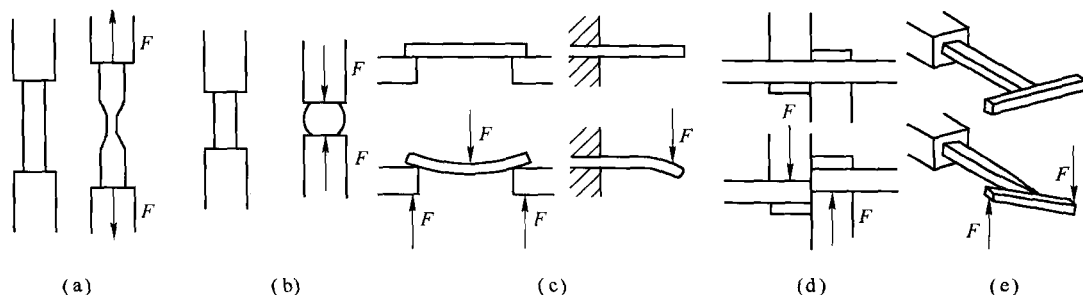


图 1-1 载荷的作用形式

(a) 拉伸载荷; (b) 压缩载荷; (c) 弯曲载荷; (d) 剪切载荷; (e) 扭转载荷

金属材料受到载荷作用而产生的几何形状和尺寸的变化称为变形。变形一般分为弹性变形

和塑性变形两种。随载荷的存在而产生、随载荷的去除而消失的变形称为弹性变形。而不能随载荷的去除而消失的变形称为塑性变形。

当外力作用时,金属为保持其不变形,在材料内部作用着与外力相对抗的力。这种由外力引起的、大小和方向随外力而改变的力称为内力。内力的大小表现材料的性能,不同的材料有不同的内力大小。内力如果能够抵抗外力则金属就不变形、不破坏。

单位面积上的内力称为应力。金属受拉伸载荷或压缩载荷作用时,其横截面上的应力按下式计算:

$$\sigma = F/S_0 \tag{1-1}$$

式中  $\sigma$  ——应力,Pa 或 MPa;

$F$  ——外力,N;

$S_0$  ——原始横截面积,m<sup>2</sup>。

由式 1-1 可见,应力为试验期间某一时刻的力除以试样原始横截面积( $S_0$ )的商。

### 1.1.1 强度

金属在静载荷作用下,抵抗塑性变形或断裂的能力称为强度。强度的大小通常用应力来表示。根据载荷作用方式不同,强度可分为抗拉强度、抗压强度、抗弯强度、抗剪强度和抗扭强度等五种。一般情况下多以抗拉强度作为判别金属强度高低的指标。

抗拉强度是通过拉伸试验测定的。拉伸试验的方法是用静拉力对标准试样进行轴向拉伸,同时连续测量力和相应的伸长量,直至试样断裂,根据测得的数据,即可得出有关的力学性能。

需要注意的是,力学性能数据在很大程度上取决于采用的试验方法,其中包括试验的条件、设备,试样的形状、尺寸和制备,以及加载速度(或变形速度)及温度等,对试验的最终结果有极其重要的甚至决定性的影响。

#### 1.1.1.1 试样

拉伸试样的形状一般有圆形和矩形两类。国家标准中,对试样的形状、尺寸及加工要求均有明确的规定。图 1-2 所示为圆形拉伸试样。

图 1-2 中, $d_0$  是试样的直径, $l_0$  为原始标距长度。根据标距长度与直径之间的关系,试样可分为长试样( $l_0 = 10d_0$ )和短试样( $l_0 = 5d_0$ )两种。

试样的真正意义在于它能代表所在的一批金属材料的性能。正确取样是准确评定产品性能的重要一环。取样部位、取样方向、取样数量是取样三要素,应按照相关产品标准或 GB/T 2975《钢和钢产品力学性能试验取样位置和试样制备》的要求切取样坯和制备试样。

铜及铜合金板带材拉伸试样取样尺寸如表 1-1 所示,铜及铜合金棒材拉伸试样取样尺寸应符合 GB/T 228—2002(表 1-2)的规定。

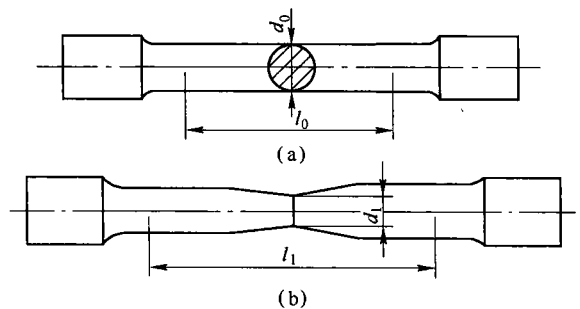


图 1-2 圆形拉伸试样  
(a) 拉伸前; (b) 拉伸后

表 1-1 铜及铜合金板带材拉伸试样取样尺寸 (mm)

合金类别	厚度	长度	宽度	制备
铜及铜合金	<3.0	200 ± 5	40 ± 5	铣
	3.0 ~ <4.5	280 ± 5		
	4.5 ~ <10.0	380 ± 5	40 ± 5	
	10 ~ <15.0	420 ± 5		

表 1-2 铜及铜合金棒材拉伸试样取样尺寸 (mm)

合金类别	直径 $D$	短试样长度	长试样长度	备注
纯铜、 普通黄铜	≤15	250 ± 10		整拉
	>15	160 ± 10	200 ± 10	车 φ10
其他铜合金	≤10	220 ± 10		整拉
	>10 ~ 15	160 ± 10	200 ± 10	车 φ8
	>15			车 φ10

### 1.1.1.2 应力 - 应变曲线

#### A 力 - 伸长曲线

拉伸试验中记录的拉伸力与伸长量的关系曲线叫做力 - 伸长曲线,也称为拉伸曲线图。纵坐标表示力,单位为 N;横坐标表示变形,单位为 mm。

#### B 应力 - 应变曲线 ( $R - \varepsilon$ )

由于力 - 伸长曲线只考虑了力与绝对变形的因素,而没有考虑到受力的面积和相对变形的因素,所以,当力与受力面积、绝对变形与相对变形综合考虑时,就用应力 - 应变曲线来表示拉伸试验中得出的拉伸力与伸长量的关系曲线。图 1-3 是低碳钢的应力 - 应变曲线,图中纵坐标表示应力,单位为 MPa;横坐标表示应变,无单位,一般用百分率表示。图 1-3 明显地表现出下面几个变形阶段:

(1)  $Op$  —— 弹性变形阶段。试样变形完全是弹性的,此时如果卸载,试样即恢复原状。弹性变形阶段说明试样的伸长与外力的增加成正比(符合胡克定律),能够保持正比的最大外力,即  $F_p$  是试样能恢复到原始形状和尺寸的最大拉伸力。

弹性变形阶段可以测出材料的比例极限 ( $R_p$ ) 和弹性模量  $E$ ,并以此确定材料的刚度和弹性。弹性模量  $E$  是指金属材料在弹性状态下的应力  $R$  与应变  $\varepsilon$  的比值,即:

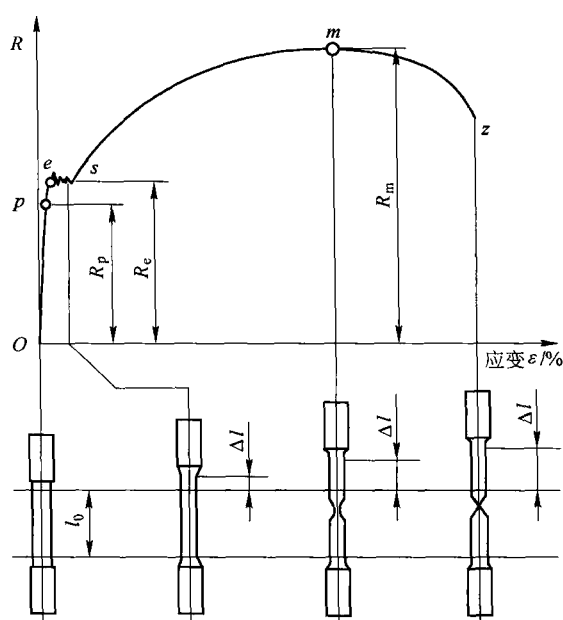


图 1-3 低碳钢的应力 - 应变曲线



$$E = R_p / \varepsilon \quad (1-2)$$

1) 弹性模量( $E$ ):在 $R-\varepsilon$ 曲线上,弹性模量 $E$ 就是试样在弹性变形阶段的 $R-\varepsilon$ 线段的斜率,即引起单位弹性变形所需要的应力。因此,它表示金属材料抵抗弹性变形的能力。工程上将材料抵抗弹性变形的能力称为刚度。

绝大多数的机械零件都是在弹性状态下工作的,故一般不允许有过量的弹性变形,更不允许有明显的塑性变形,所以,对刚度都有一定的要求。 $E$ 越大,刚度越好。弹性模量 $E$ 的数值主要取决于各种材料的本性,而热处理、合金化及塑性变形等对它影响很小,它是一个对组织不敏感的力学性能指标。

2) 比例极限 $R_p$ :任何材料在外力的作用下,其弹性变形是有一定范围的,但当外力超过 $R_p$ 时,正比关系便被破坏。所以,把保持 $E = R_p / \varepsilon$ 的极限应力 $R_p$ 称为比例极限。

(2)  $p_s$ —屈服阶段。当载荷超过 $F_p$ 再卸载时,试样将产生塑性变形,试样的伸长只能部分地恢复,而保留一部分残余变形。当载荷增加到 $F_s$ 时,图上出现平台或锯齿状。试样将产生塑性变形,这时应力不增加或只有微小增加,试样却继续伸长,这种现象称为屈服, $R_s$ 称为屈服极限, $s$ 点称为屈服点。 $R_s$ 是位于锯齿形平台的最低点所对应的应力。屈服后,材料开始出现明显的塑性变形,故屈服现象是金属由弹性变形向塑性变形转变的一个重要标志。大多数机器零件和工程构件常因塑性变形而失效,所以,一般不允许产生塑性变形。因此,屈服极限是设计的主要根据,是重要的力学性能指标之一。

屈服极限对材料的成分、组织很敏感,所以,可以通过热处理、合金化以及塑性变形等方法在很大范围内提高材料的屈服极限。

(3)  $sm$ —强化阶段。在屈服阶段以后,曲线又呈上升趋势,表示试样恢复了抵抗拉伸力的能力。欲使试样继续伸长,必须不断加载。

随着塑性变形增大,试样变形抗力也逐渐增加,这种现象称为形变强化。此阶段试样的变形是均匀发生的。

(4)  $mz$ —缩颈阶段(局部塑性变形阶段)。当载荷达到最大值 $R_m$ 之前,试样在标距 $l_0$ 范围内各部分均匀地伸长,当载荷达到最大值 $R_m$ 后,试样变形则集中在某一局部区域(试样的直径发生局部收缩),而且越拉越细,形成缩颈。

随后,由于试样缩颈处横截面面积的减小,试样承受拉伸力的能力迅速减小,这时伸长主要集中于缩颈部位,直至断裂( $z$ 点)。

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。

### 1.1.1.3 强度指标

强度是材料在静载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。按作用力性质不同,可分为抗拉强度、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判据有规定非比例伸长应力、屈服强度或规定残余伸长应力、抗拉强度等。

(1) 屈服强度和规定非比例延伸强度。在拉伸过程中力不增加(保持恒定),试样仍能继续伸长时的应力称为材料的屈服强度(屈服极限),以 $R_s$ 表示。应当区分上屈服强度和下屈服强度。试样发生屈服而力首次下降前的最高应力称为上屈服强度( $R_{SH}$ )。在屈服期间,不计初始瞬时的最低应力称为下屈服强度( $R_{SL}$ )。

屈服强度 $R_s$ 按下式计算:

$$R_s = F_s / S_0 \quad (1-3)$$