


21世纪高职高专机电类规划教材

# 工程材料及热处理

*Gongcheng Cailiao Ji Rechuli*

祝溪明 © 编著

 中国人民大学出版社

1B3  
201311

阅 览

21 世纪高职高专机电类规划教材

主编 (CIP) 目次附录件图

# 工程材料及热处理

祝溪明 编著



中国人民大学出版社

· 北京 ·

经销网络 新华书店 各大书店 均有代售

图书在版编目 (CIP) 数据

工程材料及热处理/祝溪明编著. —北京: 中国人民大学出版社, 2012. 6  
21 世纪高职高专机电类规划教材  
ISBN 978-7-300-15140-3

I. ①工… II. ①祝… III. ①工程材料-高等职业教育-教材 ②热处理-高等职业教育-教材  
IV. ①TB3 ②TG15

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 127910 号

21 世纪高职高专机电类规划教材  
工程材料及热处理  
祝溪明 编著

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

印 刷 北京东方圣雅印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

印 张 17.75

字 数 425 000

邮政编码 100080

010-62511398 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2012 年 12 月第 1 版

印 次 2012 年 12 月第 1 次印刷

定 价 35.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

# 前 言

历来机电类工程材料的相关教材多以理论为主,内容抽象复杂,教师授课、学生学习都有困难,并且在制造一线中极少直接应用工程材料的成分、组织结构、合金相图等理论性过深的内容。

本书在编写过程中充分考虑到上述不足,总结多年的教学实践经验,遵照高职教育的特点与规律,结合高职学生形象思维较强的特点进行编写。教材知识点全面、必需、够用,内容贴近生活,便于自学。全书共分8个授课单元,内容包括工程材料的性能、工程材料的组织结构、钢的热处理、工业用钢与铸铁、非铁金属与粉末冶金材料、非金属材料与新型材料、工程材料的合理选用与质量检验,以及零件毛坯成形基础等。

教材主要特色为:(1)改变编写模式,突出能力体系教材结构,按单元、能力知识点、课后练习分层次编写,在理论性较强的单元增加了应用实例,并配合编写了相应实验单元,以满足理论加实践的教学需求;(2)教材内容深入浅出、降低理论难度,少文字多图表、精讲解多练习,结合生产实际工作过程,穿插案例,使学生能快速掌握学习内容;(3)全书重点名词全为黑体,便于学生阅读和学习;(4)书中第一单元根据 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验 第1部分:室温试验方法》编写,同时提供新旧标准的对照与注释。本书可供各高职高专院校机电类专业作为教材使用,也可供从事相关工作的人员作为参考用书使用。

本书由沈阳职业技术学院祝溪明编著,沈阳职业技术学院的张黎、郭英、时代、王秀梅,东北大学的宋亮参加了编写。

由于编者的理论能力、生产实践和教学经验等方面都有限,书中难免有疏漏及欠妥之处,恳请读者将意见和建议及时发送给我们,以便进一步完善本教材。

所有意见和建议请发送邮件到这个邮箱: sygccl@163.com。

编者

2012年10月

**目 录**  
CONTENTS

绪论	1
能力知识点 1 工程材料的应用与发展	1
能力知识点 2 本课程的任务和主要内容	2
<b>第一单元 工程材料的性能</b>	<b>3</b>
<b>模块一 静载时材料的力学性能</b>	<b>4</b>
能力知识点 1 强度、刚度与塑性	4
能力知识点 2 硬度	10
<b>模块二 动载时材料的力学性能</b>	<b>15</b>
能力知识点 1 冲击韧度	15
能力知识点 2 疲劳强度	17
能力知识点 3 断裂韧性	18
<b>模块三 工程材料的物理、化学及工艺性能</b>	<b>19</b>
能力知识点 1 物理性能	19
能力知识点 2 化学性能	19
能力知识点 3 工艺性能	20
<b>模块四 应用实例</b>	<b>21</b>
实例 1 螺栓的强度和塑性	21
实例 2 数显硬度计	22
习题	23
<b>第二单元 工程材料的组织结构</b>	<b>24</b>
<b>模块一 金属的晶体结构与结晶</b>	<b>24</b>
能力知识点 1 纯金属的晶体结构	24
能力知识点 2 实际金属的晶体结构	26
能力知识点 3 纯金属的结晶	29
能力知识点 4 铸锭的组织结构	32
能力知识点 5 晶粒大小及其控制	32
能力知识点 6 金属的同素异构转变	33



<b>模块二 金属的塑性变形与再结晶</b> .....	34
能力知识点 1 金属的塑性变形 .....	35
能力知识点 2 冷塑性变形对金属组织和性能的影响 .....	36
能力知识点 3 冷塑性变形后加热时的恢复与再结晶 .....	37
能力知识点 4 金属的热塑性变形 .....	39
<b>模块三 合金的晶体结构</b> .....	40
能力知识点 1 合金的基本概念 .....	40
能力知识点 2 合金的相结构 .....	41
<b>模块四 二元合金相图</b> .....	43
能力知识点 1 二元合金相图的建立 .....	43
能力知识点 2 匀晶相图 .....	45
能力知识点 3 共晶相图 .....	46
能力知识点 4 共析相图 .....	48
能力知识点 5 包晶相图 .....	49
<b>模块五 铁碳合金相图</b> .....	49
能力知识点 1 铁碳合金的组织 .....	49
能力知识点 2 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图分析 .....	52
<b>模块六 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图应用</b> .....	60
能力知识点 1 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图作为选择钢铁材料的依据 .....	60
能力知识点 2 Fe-Fe <sub>3</sub> C 相图作为制定热加工工艺的依据 .....	61
习题 .....	62
<b>第三单元 钢的热处理</b> .....	64
<b>模块一 热处理概述</b> .....	64
能力知识点 1 热处理的概念、作用及特点 .....	64
能力知识点 2 热处理的分类、设备及操作要求 .....	65
<b>模块二 钢的热处理原理</b> .....	66
能力知识点 1 钢在加热时的转变 (奥氏体化) .....	66
能力知识点 2 钢在冷却时的转变 .....	69
<b>模块三 钢的普通热处理</b> .....	75
能力知识点 1 钢的退火和正火 .....	76
能力知识点 2 钢的淬火 .....	79
能力知识点 3 钢的淬透性 .....	82
能力知识点 4 钢的淬火缺陷及预防 .....	84
能力知识点 5 淬火钢的回火 .....	85
能力知识点 6 钢的冷处理和时效处理 .....	88
<b>模块四 钢的表面热处理</b> .....	89
能力知识点 1 钢的表面淬火 .....	89
能力知识点 2 化学热处理 .....	92
能力知识点 3 表面气相沉积 .....	95

模块五 其他热处理工艺 .....	97
能力知识点 1 真空热处理 .....	97
能力知识点 2 可控气氛热处理 .....	97
能力知识点 3 形变热处理 .....	97
能力知识点 4 强韧化处理 .....	98
能力知识点 5 循环热处理 .....	98
能力知识点 6 流动化热处理 .....	99
模块六 热处理方案选择、安排与结构工艺性 .....	100
能力知识点 1 热处理方案的选择 .....	100
能力知识点 2 热处理工艺位置安排 .....	101
能力知识点 3 热处理零件的结构工艺性要求 .....	102
模块七 应用实例 .....	103
能力知识点 1 热处理技术要求分析 .....	103
能力知识点 2 热处理工艺分析 .....	104
习题 .....	104
第四单元 工业用钢与铸铁 .....	106
模块一 碳素钢 .....	106
能力知识点 1 碳素钢概述 .....	106
能力知识点 2 普通碳素结构钢 .....	110
能力知识点 3 优质碳素结构钢 .....	111
能力知识点 4 碳素工具钢 .....	114
能力知识点 5 铸造碳钢 .....	116
模块二 低合金结构钢 .....	118
能力知识点 1 低合金高强度结构钢 .....	118
能力知识点 2 低合金耐候钢 .....	119
模块三 合金钢 .....	120
能力知识点 1 合金钢的分类与牌号 .....	120
能力知识点 2 合金元素在钢中的作用 .....	122
能力知识点 3 机械结构用合金钢 .....	125
能力知识点 4 合金工具钢 .....	133
能力知识点 5 特殊性能合金钢 .....	142
能力知识点 6 硬质合金 .....	149
模块四 铸铁 .....	151
能力知识点 1 铸铁的分类与石墨化 .....	151
能力知识点 2 铸铁的组织与性能 .....	153
能力知识点 3 常用铸铁材料 .....	154
习题 .....	166
第五单元 非铁金属与粉末冶金材料 .....	169
模块一 铝及铝合金 .....	169
能力知识点 1 工业纯铝 .....	169

能力知识点 2	铝合金的分类及强化	170
能力知识点 3	变形铝合金	171
能力知识点 4	铸造铝合金	173
能力知识点 5	新型铝合金	176
<b>模块二</b>	<b>铜及铜合金</b>	176
能力知识点 1	工业纯铜	176
能力知识点 2	铜合金	177
<b>模块三</b>	<b>其他非铁金属、合金介绍</b>	182
能力知识点 1	钛及钛合金	182
能力知识点 2	镁及镁合金	184
能力知识点 3	锆及锆合金	184
能力知识点 4	锌及锌合金	184
能力知识点 5	铅及铅合金	185
能力知识点 6	锡及锡合金	185
能力知识点 7	铬及铬合金	186
能力知识点 8	镍及镍合金	187
能力知识点 9	锰及锰合金	187
<b>模块四</b>	<b>滑动轴承合金与粉末冶金</b>	188
能力知识点 1	滑动轴承合金	188
能力知识点 2	粉末冶金	190
	习题	191
<b>第六单元</b>	<b>非金属材料与新型材料</b>	193
<b>模块一</b>	<b>高分子材料</b>	193
能力知识点 1	高分子材料的特征	193
能力知识点 2	塑料	195
能力知识点 3	橡胶	197
能力知识点 4	纤维	200
能力知识点 5	胶黏剂	201
能力知识点 6	涂料	201
<b>模块二</b>	<b>陶瓷材料</b>	202
<b>模块三</b>	<b>复合材料</b>	205
能力知识点 1	复合材料的概念	205
能力知识点 2	复合材料的组成及分类	206
能力知识点 3	复合材料的性能特点	207
能力知识点 4	常用复合材料	208
<b>模块四</b>	<b>新型材料</b>	209
能力知识点 1	形状记忆合金的概念与分类	209
能力知识点 2	纳米材料	211
能力知识点 3	超导材料	213



能力知识点 4 高温材料 .....	214
能力知识点 5 储氢材料 .....	214
<b>模块五 应用实例</b> .....	215
能力知识点 1 汽车用非金属材料 .....	215
能力知识点 2 化工设备用工程塑料 .....	216
能力知识点 3 阀门用陶瓷材料 .....	217
能力知识点 4 航空航天用复合材料 .....	217
能力知识点 5 机械电气工业领域用复合材料 .....	217
习题 .....	218
<b>第七单元 工程材料的合理选用与质量检验</b> .....	219
<b>模块一 机械零件的失效</b> .....	219
能力知识点 1 失效的概念及形式 .....	219
能力知识点 2 零件失效的原因 .....	220
<b>模块二 选材的基本原则</b> .....	221
能力知识点 1 使用性能的考虑 .....	221
能力知识点 2 工艺性能的考虑 .....	222
能力知识点 3 经济性的考虑 .....	222
<b>模块三 典型零件选材实例</b> .....	223
能力知识点 1 轴类零件的选材 .....	223
能力知识点 2 齿轮零件的选材 .....	226
能力知识点 3 箱体零件的选材 .....	231
能力知识点 4 弹簧零件的选材 .....	232
能力知识点 5 切削刀具的选材 .....	233
<b>模块四 金属材料的质量检验</b> .....	235
能力知识点 1 成分检验方法 .....	235
能力知识点 2 组织分析 .....	236
能力知识点 3 无损探伤方法 .....	237
习题 .....	238
<b>第八单元 零件毛坯成形基础</b> .....	240
<b>模块一 铸造成形基础</b> .....	240
能力知识点 1 铸造概述 .....	240
能力知识点 2 砂型铸造 .....	241
能力知识点 3 特种铸造 .....	245
<b>模块二 锻压成形基础</b> .....	247
能力知识点 1 锻压概述 .....	247
能力知识点 2 自由锻 .....	248
能力知识点 3 模锻 .....	251
能力知识点 4 板料冲压 .....	253
能力知识点 5 锻压新技术 .....	255

模块三 焊接成形基础 .....	256
能力知识点 1 焊接概述 .....	256
能力知识点 2 手工电弧焊 .....	256
能力知识点 3 埋弧焊 .....	259
能力知识点 4 气体保护焊 .....	260
能力知识点 5 电阻焊 .....	261
能力知识点 6 钎焊 .....	264
习题 .....	265
<b>附录</b> .....	266
附录 1 新旧标准性能名称、符号对照 .....	266
附录 2 压痕直径与布氏硬度对照表 .....	267
附录 3 黑色金属硬度与强度换算表 .....	270
附录 4 合金元素规定含量界限值 .....	271
附录 5 常用热处理工艺代号及技术条件的表示方法 .....	272
<b>参考文献</b> .....	273

# 绪 论

## 能力知识点 1 工程材料的应用与发展

### 1. 材料

材料是指能够制造结构、器件或其他有用产品的物质。广义地讲，食品、药品、燃料、木材、沙石、肥料、水、空气等都是材料。

### 2. 工程材料

工程材料是指一般工业和工程领域所说的材料，常应用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域，具体应用如图 0—1 所示。



图 0—1 工程材料的应用

### 3. 工程材料的分类

工程材料的具体分类方法如图 0—2 所示。

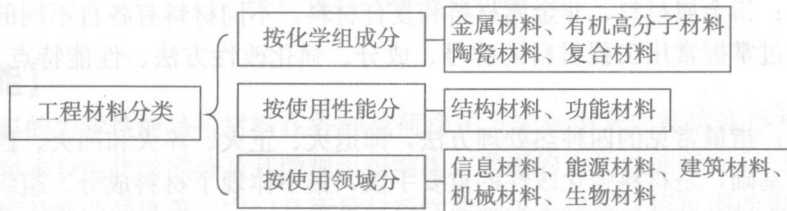


图 0—2 工程材料的分类

### 4. 工程材料的发展

工程材料的发展历经了各个社会发展阶段：石器时代、青铜器时代、铁器时代及正在

进入的人工合成材料的新时代，如图 0—3 所示。工程材料的发展推动了社会的进步，既是人类进化的里程碑，也是发展高科技的先导和基石。



图 0—3 工程材料的发展

## 能力知识点 2 本课程的任务和主要内容

### 1. 课程任务

工程材料是与工程实践紧密结合的课程，是机械类等工程专业必修的课程，具有较强的理论性及实用性。我们需要完成以下课程任务。

①了解材料的组成成分、组织结构、性能之间的关系。

②掌握各种工程材料（重点是金属材料）的基本特征和应用范围及其强化改性的途径、原理与方法。

③初步具有正确确定一般机械零件的热处理方法、工艺参数及其工序位置的能力。

④初步具备选用常用材料的能力。

### 2. 内容体系

课程内容可以归纳为：一条线、两张图、三材料、四把火。

①一条线：指从始至终贯穿本课程的主线，即材料的“化学成分—组织结构—性能—应用”之间的相互关系及变化规律。

②两张图：指铁碳合金相图和奥氏体等温转变曲线图。铁碳合金相图：反映铁碳合金在缓慢加热和冷却时其成分、组织与温度之间的关系。奥氏体等温转变曲线图：反映冷却时温度与冷却速度对材料组织及性能的影响。

深刻理解和掌握这两张图，可以了解钢在不同温度和不同冷却方式下的性能特点，合理确定热处理方法与工艺参数，使材料发挥其最大作用。

③三材料：指金属材料、非金属材料和复合材料。不同材料有各自不同的性能特点与应用范围。通过掌握常用工程材料的牌号、成分、强化改性方法、性能特点及适用范围，做到合理选材。

④四把火：指最常见的四种热处理方法，即退火、正火、淬火和回火。四把火是其他热处理方法的基础，是材料强化改性的重要手段，集中体现了材料成分、组织结构、性能与热处理工艺之间的关系。需要掌握根据材料及性能要求正确制定热处理的工艺参数，合理安排其工序的位置。

# 第一单元

## 工程材料的性能

### 【学习目标】

1. 了解材料的力学性能指标的测定原理及相关实验设备的结构、作用与组成。
2. 掌握材料力学性能指标强度、塑性、硬度、冲击韧度、疲劳强度、断裂韧性的基本含义。

### 【能力目标】

1. 了解检验材料力学性能指标的应用。
2. 掌握实际测量材料硬度的方法。

工程材料的性能是指材料在外界条件作用下表现出来的行为。非金属材料的性能指标及测试方法与金属材料大多相同或相近，所以这里主要介绍金属材料的性能。性能分类如图 1—1 所示。

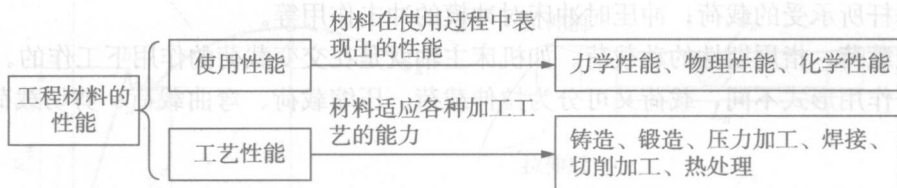


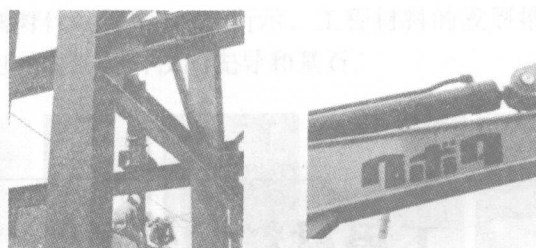
图 1—1 工程材料的性能分类

### 【力学性能】

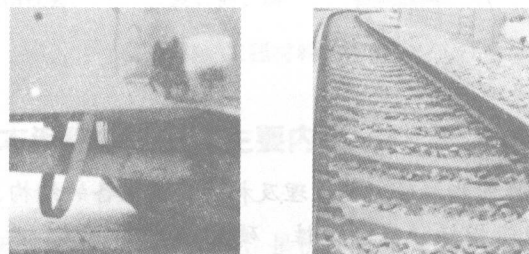
金属材料的力学性能是指材料在各种载荷作用下表现出来的抵抗变形和断裂的能力。它取决于材料本身的化学成分及其微观组织结构。常用的力学性能指标有强度、塑性、硬度、冲击韧度及疲劳强度等，它们是衡量材料性能和决定材料应用范围的重要指标，如图 1—2 所示。

不只限于机械，静止不动的建筑物，其梁、柱的不同部位，有的受拉力、有的受压力，还有的受弯曲力。而且当有风或地震时，所受的力会变得更大。运转的机械受到各种作用力的同时，还受到冲击力，而反复受同样力的部位还会产生疲劳。





(a) 柱被压缩, 梁被弯曲 (b) 液压缸经得住油压的抗拉强度



(c) 传动轴需要抗扭强度 (d) 铁轨的表面是硬的

图 1—2 力学性能示例

## 【载荷】

金属材料在加工和使用过程中所受到的外力称为**载荷**。对所有的机械零件来说,总是受到载荷的作用,根据作用载荷的性质可分为如下三种。

**静载荷**:指大小不变或变化很慢的载荷。如机床主轴箱对床身的压力,钢索的拉力、梁的弯矩和剪切力等。

**冲击载荷**:指突然增加或消失的载荷。如在墙上钉钉子,钉子所受的力;空气锤锤头下落时锤杆所承受的载荷;冲压时冲床对冲模的冲击作用等。

**交变载荷**:指周期性的动载荷。如机床主轴就是在交变载荷的作用下工作的。

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。

## 【载荷下的变形】

随外力消除而消失的变形称为**弹性变形**;当外力去除时,不能恢复的变形称为**塑性变形**。

# 模块一 静载时材料的力学性能

## 能力知识点 1 强度、刚度与塑性

静拉伸实验可以测得材料的强度、刚度和塑性,基本全面揭示了材料在静载荷作用下的变形规律。

根据 GB/T 228—2010 规定, 静拉伸实验是把一定尺寸和形状的金属试样装夹在试验机上, 然后对试样逐渐施加拉伸载荷, 直到把试样拉断为止, 如图 1—3 所示。抗拉试样有固定的形状与尺寸, 取决于被实验材料的种类, 有棒材、板材、线材等, 标准上有规定。

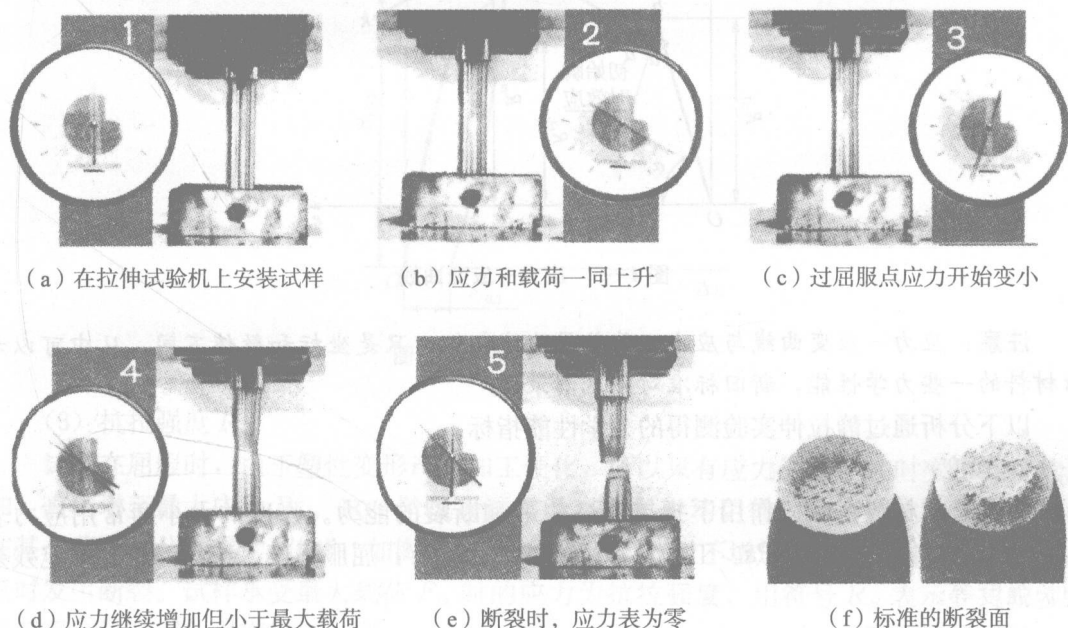


图 1—3 拉伸实验

拉伸试验机可以自动记录拉伸力与相对应的伸长量, 得到的力—伸长量曲线称为拉伸曲线, 如图 1—4 所示。

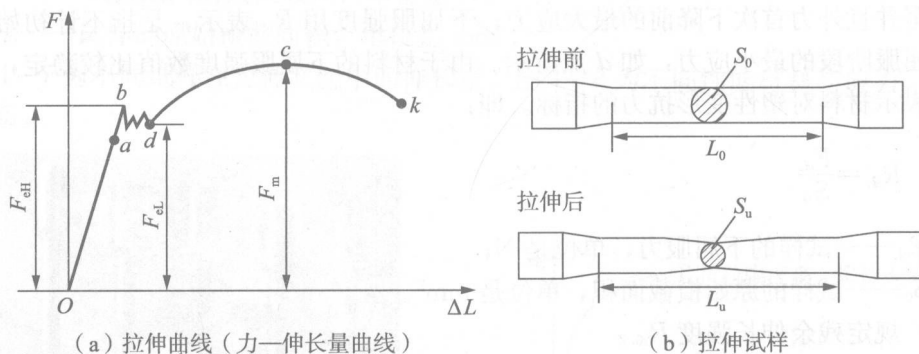


图 1—4 退火低碳钢的拉伸曲线与拉伸试样

拉伸曲线纵坐标为拉伸载荷  $F$ , 横坐标为伸长量  $\Delta L$ 。拉伸试样的原始横截面积为  $S_0$ , 原始标距长度为  $L_0$ ; 试样断后最小横截面积为  $S_u$ , 试样断后标距长度为  $L_u$ 。试样分为比例试样和非比例试样。比例试样符合  $L_0 = K \sqrt{S_0}$  关系,  $K$  为比例系数, 常用的有短试样  $L_0 = 5.65 \sqrt{S_0}$  (国际通用) 和长试样  $L_0 = 11.3 \sqrt{S_0}$  两种。

图 1—5 为应力—应变曲线, 纵坐标为应力  $R$ , 横坐标为应变  $\epsilon$ 。拉伸载荷  $F$  除以试样

的原始横截面积  $S_0$  所得为应力。试样伸长量  $\Delta L$  除以试样原始标距长度  $L_0$  所得为应变。

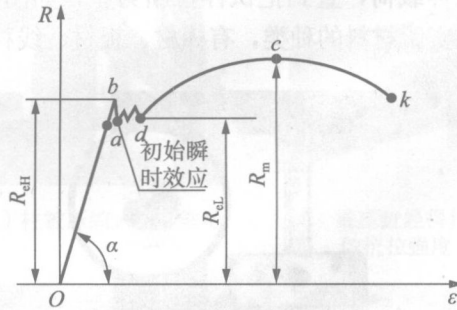


图 1—5 应力—应变曲线

**注意：**应力—应变曲线与应力—伸长量曲线相似，只是坐标和数值不同，从中可以看出材料的一些力学性能，新旧标准对照见附录 1。

以下分析通过静拉伸实验测得的力学性能指标。

### 1. 强度

**强度**是指材料在载荷作用下抵抗塑性变形和断裂的能力。强度的大小通常用应力表示，符号为  $R$ ，单位为 MPa。工程上常用的强度指标有：屈服强度、抗拉强度和规定残余伸长强度等。

#### (1) 屈服强度

如图 1—5 所示，应力—应变曲线在  $a$  点（比例极限）之前为成比例变化的直线，这时试样产生的是弹性变形。应力超过  $a$  点时，试样产生塑性变形。当应力达到  $b$  点后开始下降，并产生微小波动，此时试样快速伸长，这种现象称为“屈服”。试样屈服时的应力称为材料的**屈服强度**，包括上屈服强度和下屈服强度。上屈服强度用  $R_{eH}$  表示，是指试样发生屈服并且外力首次下降前的最大应力；下屈服强度用  $R_{eL}$  表示，是指不计初始瞬时时效应时，屈服阶段的最小应力，如  $d$  点所示。由于材料的下屈服强度数值比较稳定，所以一般用它表示材料对塑性变形抗力的指标。即：

$$R_{eL} = \frac{F_{dL}}{S_0} \tag{1-1}$$

式中， $F_{dL}$ ——试样的下屈服力，单位是 N；

$S_0$ ——试样的原始横截面积，单位是  $\text{mm}^2$ 。

#### (2) 规定残余伸长强度 $R_{r0.2}$

有些材料没有明显的屈服现象，如大多数的合金钢、铜合金及铝合金；有些材料甚至在断裂前也不发生塑性变形，如铸铁、镁合金等，此时用**规定残余伸长强度**  $R_{r0.2}$  来表示该材料的屈服强度。 $R_{r0.2}$  表示试样发生 0.2% 的微量塑性变形时的应力值，通常写成  $R_{0.2}$ ，如图 1—6 所示。

$$R_{r0.2} = \frac{F_{r0.2}}{S_0} \tag{1-2}$$

式中， $F_{r0.2}$ ——残余延伸率为 0.2% 时的载荷，单位是 N；

$S_0$ ——试样的原始横截面积，单位是  $\text{mm}^2$ 。

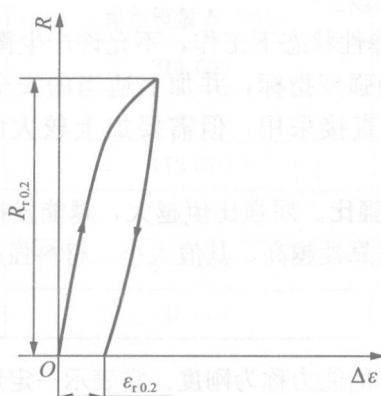


图 1—6 规定残余伸长强度

### (3) 抗拉强度 $R_m$

试样在屈服时，由于塑性变形产生加工硬化，所以只有应力继续增大时变形才继续增加，直到增至最大应力  $R_m$ 。这一阶段，试样沿整个长度均匀伸长，当到达  $c$  点时，试样在某个薄弱部分形成“颈缩”，如图 1—4 (b) 所示。此时不增加应力，试样也会在到达  $k$  点时发生断裂。试样承受最大载荷  $F_m$  时的应力为抗拉强度，用符号  $R_m$  表示。抗拉强度是工程上最常用的强度指标。即：

$$R_m = \frac{F_m}{S_0} \quad (1-3)$$

式中， $F_m$ ——试样在屈服阶段后所能抵抗的最大载荷，对于无明显屈服的金属材料，为试验期间的最大载荷，单位是 N；

$S_0$ ——试样的原始横截面积，单位是  $\text{mm}^2$ 。

图 1—7 为不同试样在拉伸实验中的伸长量。图 1—8 为不同性能材料与应力、应变曲线的关系。

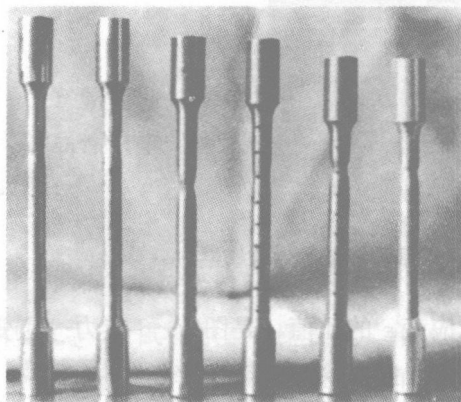


图 1—7 不同试样在拉伸实验中的伸长量

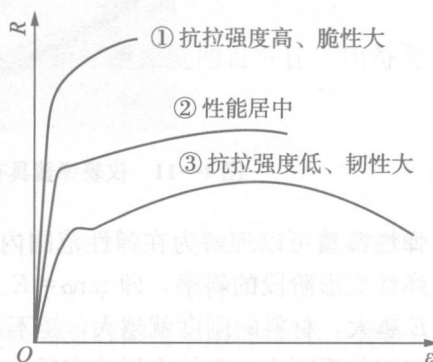


图 1—8 材料、应力与应变曲线的关系